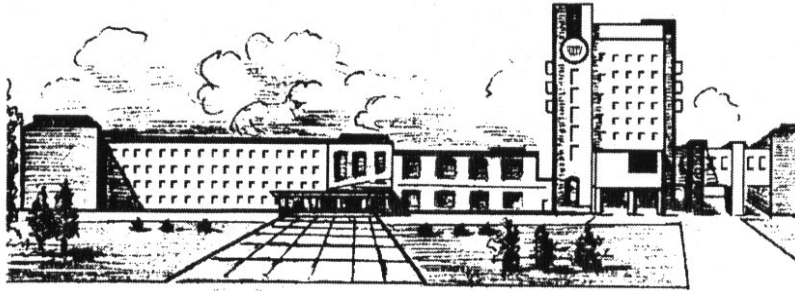


ISSN 2225-7551

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



В І С Н И К
ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 2 (73)

Чернігів 2014

УДК 62/69+004
ББК 30/35
В53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 9 від 27.10.2014 р.). «Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» включено до нового переліку наукових фахових видань України, затвердженого постановою Президії ВАК України від 01.07.2010 р. № 1-05/5 (Бюлетень ВАК України № 7, 2010).

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

Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збірник / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2014. – № 2 (73). – 251 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 легкої і харчопереробної промисловості та технологій охорони праці та природокористування. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів та закладів НАН України.

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

УДК 62/69+004
ББК 30/35

Головний редактор:

Казимир В.В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи.

Заступник головного редактора:

Пилипенко О.І., доктор технічних наук, професор.

Члени редакційної колегії:

Болотов Г.П., доктор технічних наук, професор;

Волков І.В., доктор технічних наук, професор;

Денисов Ю.О., доктор технічних наук, професор;

Дубенець В.Г., доктор технічних наук, професор;

Дудла І.О., доктор технічних наук, доцент;

Кальченко В.І., доктор технічних наук, професор;

Кальченко В.В., доктор технічних наук, професор;

Литвинов В.В., доктор технічних наук, професор;

Сенько В.І., доктор технічних наук, професор;

Сиза О.І., доктор технічних наук, професор;

Скоробогатова В.І., доктор технічних наук, професор;

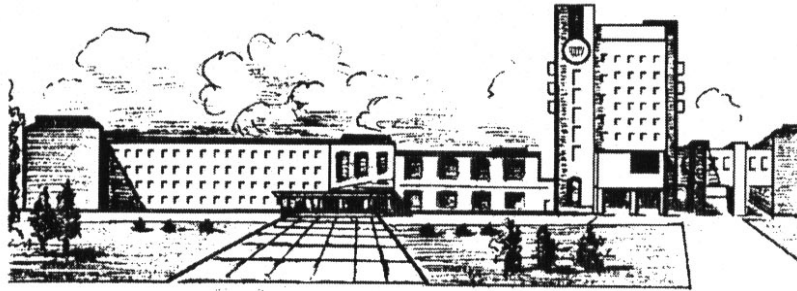
Харченко Г.К., доктор технічних наук, професор;

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

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

ISSN 2225-7551

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE



VISNYK

***CHERNIHIV
STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY***

SERIES "TECHNICAL SCIENCES"

SET OF SCIENTIFIC WORKS

ISSUE № 2 (73)

Chernihiv 2014

UDC 62/69+004
LBC 30/35

Published by the decision of the Academic Council of the University (protocol № 9 of 27.10.2014) Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" is included in the new list of academic editions of Ukraine, approved by the Resolution of the Presidium of the HAC of Ukraine of 01.07.2010 № 1-05/5 (Bulletin of HAC of Ukraine № 7, 2010).

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

Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences": scientific collection / Chernihiv National Technological University. – Chernihiv : Chernihiv National Technological University, 2014. – № 2 (73). – 251 p.

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

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

UDC 62/69+004
LBC 30/35

Editor in chief:

Kazymyr V.V., Vice-rector of scientific work, Doctor of Technical Sciences, Professor.

Deputy Editor in chief:

Pilipenko O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor.

Members of the Editorial Board:

Bolotov H.P., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Volkov I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Denysov Yu.A., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Dubenets V.H., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Dudla I.O., Doctor of Technical Sciences, associate professor;

Kalchenko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Kalchenko V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Lytvynov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Senko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Syza O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Skorobohatova V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Kharchenko H.K., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Cherednichenko P.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

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

ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

<i>Коваль В.І., Бадай М.В.</i> Дослідження наукової діяльності видатних учених-механіків Чернігівщини	9
<i>Часов Д.П.</i> Влияние угла атаки дополнительной лопасти на движущую силу шнекового конвейера	15

РОЗДІЛ II. МЕХАНОХІМІЯ

<i>Воробйова М.І., Півоваров О.А.</i> Формування колоїдних наночасток срібла з водних розчинів AgNO_3 під дією контактної нерівноважної плазми	22
<i>Горбенко П.К., Ковтун А.А., Рогоза А.В., Шоломий Ю.Е.</i> Исследование радиационных дефектов в кристаллах KCL чистых и с примесью ионов Li^+ и Na^+	29
<i>Єрошенко А.М., Кремчанін Є.М.</i> Програмування електроерозійної обробки в середовищі Delcam	33
<i>Воробйова В.І., Чигиринець О.Е., Фатєєв Ю.Ф.</i> Синергетичний вплив нітрогеновмісних органічних сполук на протикорозійні властивості екстракту шроту ріпаку	38
<i>Комаха В.О.</i> Реологічні властивості водних суспензій карбонату кальцію модифікованих ПАР	43
<i>Трус І.М., Макаренко І.М., Шаблій Т.О.</i> Опріснення шахтних вод з високою жорсткістю при використанні електродіалізу	49

РОЗДІЛ III. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Кальченко В.І., Сліднікова О.С., Кальченко Д.В., Музичка Д.Г.</i> 3D-модельовання інструментів та формоутворення при шліфуванні торців непереточуваних прямокутних пластин орієнтованим кругом	55
<i>Жарий Я.В., Веремей Г.А.</i> Модель оптимизации процесса дефектации седел клапанов газораспределительного механизма при восстановительном ремонте	62
<i>Космач О.П.</i> Статистичні характеристики розподілу модельних сигналів акустичної емісії при зміні швидкості обертання вузла тертя із композиційних матеріалів	69
<i>Міщенко М.В., Пасов Г.В.</i> Аварійний ремонт дизельного двигуна ГАЗ-544 і його модифікацій у польових умовах внаслідок конструктивного прорахунку	78
<i>Сапон С.П.</i> Модельовання траєкторій руху шпинделя на регульованих гідростатичних опорах	83
<i>Хоменко І.М.</i> Про побудову зовнішньої швидкісної характеристики автомобільного двигуна розрахунковим методом	93

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

<i>Болотов М.Г., Руденко М.М.</i> Застосування тліючого розряду з порожнистим катодом у процесах поверхневої обробки металів (огляд)	100
<i>Новомлинець О.О., Олексієнко С.В., Завальна І.В., Половецький Є.В.</i> Прецизійне електроконтактне точкове зварювання металевих матеріалів	104

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Косолап А.І., Довгополая А.А.</i> Сферическая кластеризация данных	112
<i>Литвинов В.В., Мойсеєнко О.П.</i> Формирование кластеров при работе с неиерархическими методами кластерного анализа	115
<i>Вавіленкова А.І.</i> Аналіз методів пошуку синонімів в електронних документах	119

<i>Гумен М.Б., Гумен Т.Ф.</i> Передача даних у телеметричних системах із застосуванням технології Mesh Lite	129
<i>Зайцев С.В.</i> Математична модель нечіткого декодування турбокодів	136
<i>Мехед Д.Б.</i> Захист інформації на підприємстві.....	143
<i>Ткач Ю.М.</i> Побудова нечітких когнітивних карт для оцінки інформаційних ризиків вищого навчального закладу	149
<i>Назарук В.Д.</i> Використання багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів для побудови фізичного рівня систем бездротового доступу	154
<i>Задорожний А.А.</i> Классификация и методы устранения неопределенностей в моделях при индуктивном и дедуктивном подходах к их созданию	159
<i>Kazymyr V., Mokrohuz A.</i> Information technologies of biometric security for mobile devices	169

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

<i>Алексеевский Д.Г., Бурова А.А., Буров А.Н., Кулаков С.А.</i> Определение коэффициента преобразования мощности электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием	176
<i>Іванець С.А., Красножон О.В.</i> Використання нечіткої логіки в системах відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів	180

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Дудла І.О., Соболь О.М., Яковенко А.М.</i> Аналіз споживчих вимог до вовняних тканин	188
<i>Герасименко Т.М., Ладанюк А.П.</i> Математичне моделювання процесу сушіння солоду як об'єкта регулювання температури та вологості	195
<i>Отрошко В.А., Мережко Н.В.</i> Оцінювання відповідності дитячого взуття.....	201
<i>Победаш М.М., Сидоренко О.В.</i> Шляхи стабілізації споживчих властивостей рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб	208

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<i>Зацерковний В.І., Лисецький Ю.М., Сивик Д.О., Кривоберець С.В.</i> Використання геоінформаційних технологій у санітарно-гігієнічному моніторингу територій (на прикладі Чернігівської області)	213
<i>Иващенко Т.Г., Индже И.Д.</i> Экологические аспекты технологий утилизации фосфогипса ...	223
<i>Таїрова Т.М.</i> Математичне моделювання показників оцінювання виробничого травматизму у вугільній галузі	228
<i>Крупко В.А.</i> Аналіз можливостей утилізації осаду очисних споруд	233
<i>Лінючев О.Г., Мірошніченко Ю.С., Лінючева О.В., Гомеля М.Д.</i> Апаратно-технічне забезпечення для визначення рівня забруднення хлором повітряного середовища.....	237

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО «ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ. СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»	245
--	-----

CONTENT

SECTION I. MECHANICS

Koval V., Badai M. Research on scientific activity of the Chernihiv region scientist-mechanics.....	9
Chasov D. Influence of AOA of extra blades on the driving force of a screw conveyor.....	15

SECTION II. MECHANOCHEMISTRY

Vorobyova M., Pivovarov A. Formation of the colloid silver nanoparticles from aqueous solutions AgNO_3 under the influence of the contact nonequilibrium plasma	22
Gorbenko P., Kovtun A., Rogoza A., Sholomiy Yu. The research into radiational defects in high purity KCL crystals and KCL crystals with Li^+ and Na^+ admixture	29
Yeroshenko A., Kremchanin Ye. Programming electrical discharge machining in the environment Delcam	33
Vorobiova V., Chyhyrynets O., Fateiev Yu. Synergistic influence of nitrogen organic compounds on the inhibitor effectiveness of the rape-cake extract.....	38
Komakha V. Rheological properties of aqueous suspension of calcium carbonate of modified surfactants.....	43
Trus I., Makarenko I., Shablii T. Desalination of mine water with high hardness while using electrodialysis	49

SECTION III. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT

Kalchenko V., Sliednikova O., Kalchenko D., Muzychka D. 3D-modeling of tools and forming while grinding faces of indexable rectangular plates in oriented circle	55
Zhariy Ya., Veremei G. The mathematical model for the flaw detecting process of the overhauled valve-seat surfaces in the valve timing gear.....	62
Kosmach O. Statistical characteristics of distribution of model acoustic emission signals at changes of rotational speed of friction unit of composite materials.....	69
Mishchenko M., Pasov H. Emergency repair of diesel GAS-544 and its modifications in field in connection with design flaws	78
Sapon S. The simulation of trajectories of spindle with adjustable hydrostatic bearings.....	83
Khomenko I. On the construction of external speed characteristic of a car engine by calculation method.....	93

SECTION IV. WELDING TECHNOLOGIES

Bolotov M., Rudenko M. Application of glow discharge with hollow cathode in processes of surface treatment of metals (review).....	100
Novomlynets O., Oleksiienko S., Zavalna I., Polovetskyi Ye. High-precision electrocontact spot welding of metallic materials.....	104

SECTION V. INFORMATION COMPUTER TECHNOLOGIES

Kosolap A., Dovgopolaya A. Spherical clustering of data	112
Litvinov V., Moyseenko O. The formation of clusters at work with non-hierarchical methods of cluster analysis	115
Vavilenkova A. Analysis of the methods of searching synonyms in electronic documents	119
Humen M., Humen T. Data transmission in telemetry systems using Mesh Lite technology	129
Zaitsev S. A mathematical model of fuzzy decoding of turbocodes	136

Mekhed D. Data protection on the enterprise	143
Tkach Yu. Construction of fuzzy cognitive maps for evaluation of the information risks of a higher education institution	149
Nazaruk V. Usage of multifrequency code designs without coincidence of time-frequency elements for building of a physical level of wireless systems.....	154
Zadorozhnyi A. Classification and methods for resolutions of indeterminacies in the models created with inductive and deductive approaches	159
Kazymyr V., Mokrohuz A. Information technologies of biometric security for mobile devices	169

SECTION VI. POWER ENGINEER

Alekseyevskiy D., Burova A., Burov A., Kulakov S. Determination of power conversion coefficient of the electromechanical system of wind power plant with an aerodynamic multiplication	176
Ivanets S., Krasnozhon O. The using of fuzzy logic for development of photovoltaic maximum power point tracking systems	180

SECTION VII. TECHNOLOGIES OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

Dudla I., Sobol O., Yakovenko A. Analysis of consumer demands for woolen cloth.....	188
Herasymenko T., Ladaniuk A. Mathematical modelling of drying malt as an object of temperature and humidity control	195
Otroshko V., Merezhko N. Assessment of conformity of children's footwear	201
Pobedash M., Sydorenko O. Ways of stabilization of the consumer properties of fish preserves based on small herring fish.....	208

SECTION VIII. TECHNOLOGIES OF LABOR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

Zatserkovnyi V., Lysetskyi Yu., Syvyk D., Kryvoberets S. The use of geographic information technologies in the sanitary-hygienic monitoring of areas (on the example of Chernihiv region).....	213
Ivashchenko T., Ince I. Ecological aspects of phosphogypsum utilization technologies	223
Tairova T. Mathematical simulation of the indexes of evaluation of occupational injuries in the coal industry	228
Krupko V. Analysis of possibilities of treatment facilities sludge disposal	233
Liniuchev O., Miroshnychenko Y., Liniucheva O., Homelia M. Hardware and technical support for determination of the level of chlorine in air	237

BASIC REQUIREMENTS FOR SUBMITTING MANUSCRIPTS AND SCIENTIFIC ARTICLES	245
--	-----

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

УДК 531(092)

В.І. Коваль, канд. техн. наук

М.В. Бадай, студентка

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВИДАТНИХ УЧЕНИХ-МЕХАНІКІВ ЧЕРНІГІВЩИНИ

В.И. Коваль, канд. техн. наук

М.В. Бадай, студентка

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫДАЮЩИХСЯ УЧЕНЫХ-МЕХАНИКОВ ЧЕРНИГОВЩИНЫ

Vitalii Koval, PhD in Technical Sciences

Mariia Badai, student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

RESEARCH ON SCIENTIFIC ACTIVITY OF THE CHERNIHIV REGION SCIENTIST-MECHANICS

Проведено пошук і зібрано відомості про наукову діяльність видатних учених-механіків, життєвий шлях яких пов'язаний з Чернігівщиною. У хронологічному порядку складено перелік таких науковців. У скороченому вигляді наведено їх біографічні дані й основні наукові досягнення. Зроблено спробу оцінки сумарного внеску вчених-механіків Чернігівщини у світову науку.

Ключові слова: наука, механіка, академік, Чернігівщина, дослідження.

Произведён поиск и собраны сведения о научной деятельности выдающихся ученых-механиков, жизненный путь которых связан с Черниговщиной. В хронологическом порядке составлен перечень таких ученых. В сокращенном виде приведены их биографические данные и основные научные достижения. Сделана попытка оценки суммарного вклада ученых-механиков Черниговщины в мировую науку.

Ключевые слова: наука, механика, академик, Черниговщина, исследования.

Scientific research has been carried out as well as information collected concerning the life and scientific activities of Chernihiv region prominent scientists mechanics. The list of such scientists has been made in a chronological manner. Their concise biographic data and principle scientific achievements have been presented too as well as the total contribution of Chernihiv region scientists mechanics in the universal science has been estimated.

Key words: science, mechanics, academician, Chernihiv region, investigation.

Вступ. Механіка – класична і древня наука, яка значною мірою забезпечує матеріальну сторону розвитку і технічний прогрес суспільства. З нею пов'язано багато спеціальних дисциплін, на її загальних законах ґрунтуються проектування, виготовлення й експлуатація всіх технічних споруд: будівель, машин та ін.

Людству відомо багато імен славетних учених-механіків, які зробили відкриття у цій галузі науки з часів стародавнього світу до сьогодення. Значний внесок у розвиток механіки здійснили і науковці Чернігівщини. Чернігівщина є батьківщиною багатьох видатних людей. Далеко за межами України відомі прізвища знаменитих аграріїв, лікарів, письменників, артистів, військових і представників інших професій, життєвий і творчий шлях яких пов'язаний з Чернігівщиною. Серед цієї множини знаменитостей важливе і почесне місце займають науковці, зокрема вчені-механіки. На жаль, на сьогодні відсутні будь-які систематизовані дослідження в царині визначення загального внеску вчених-механіків Чернігівщини у світову науку. Відсутній також їх хронологічний бібліографічний опис і перелік. Нами зроблена спроба часткового заповнення цієї прогалини в історії Чернігівщини.

Методи та результати. На основі енциклопедичних довідників, архівних матеріалів, періодичних, історичних й інших видань, мемуарної літератури, а також мережі Інтернет був здійснений пошук видатних учених-механіків, життєвий шлях яких пов'язаний з Чернігівщиною. Пошук проведено починаючи з XVIII століття в Чернігівській губернії царської Росії, карта якої наведена на рис. 1. Закінчено пошук уже в Чернігівській області в роки колишнього Радянського Союзу і сьогоденної незалежної

України. До уваги брались прізвища вчених-академіків, науковців, які зробили значні дослідження і відкриття в галузі механічних наук.

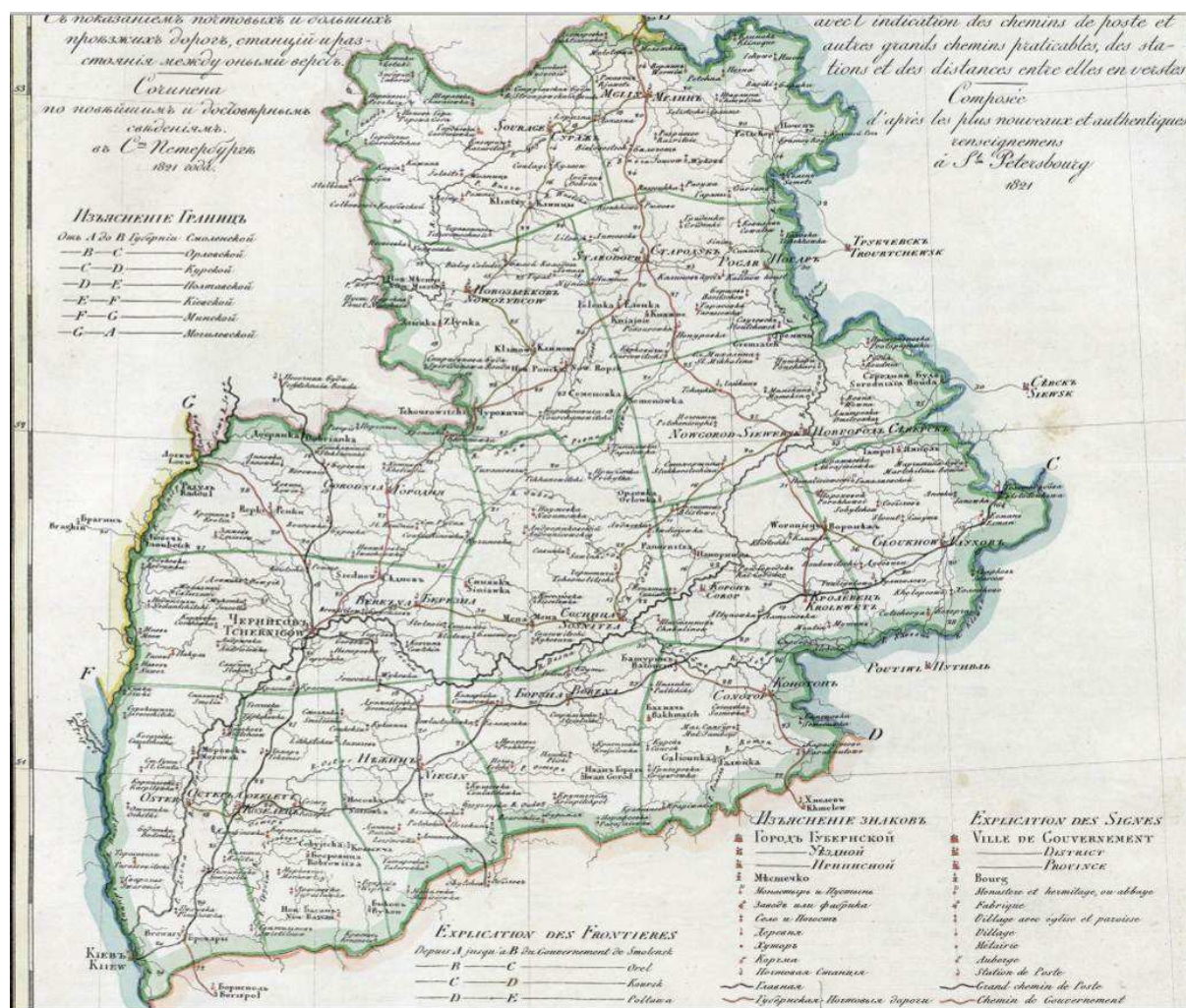


Рис. 1. Карта Чернігівської губернії станом на 1821 рік



Гамалія П.Я.

Одним із перших видатних учених-механіків Чернігівщини слід назвати Гамалію Платона Яковича (1766–1817). Він відомий учений, моряк (капітан-командор), педагог і перекладач. Науковець у галузі судноплавства, почесний член Петербурзької академії наук. Навчався в Києво-Могилянській академії. З 1791 р. П.Я. Гамалія викладав гардемаринам морську практику і теорію морського мистецтва. Автор багатьох посібників і досліджень з математики, механіки, фізики, навігації та теорії суднобудування. Його чотиритомну працю «Вища теорія морського мистецтва» можна вважати першою капітальною науковою роботою, написаною російським ученим-кораблебудівником. Платон Якович Гамалія написав також праці з метеорології, астрономії, оптики, гідрології, історії флоту. Він розробив теорію ахроматичних труб, обґрунтував ідею оптичного пеленгатора. Останні роки П.Я. Гамалія провів на Чернігівщині, у своєму маєтку в с. Лисогори сучасного Ічнянського району, де і похований.

Має певне відношення до Чернігівщини й інший видатний російський учений і інженер Журавський Дмитро Іванович (1821–1891). Уродженець Курської губернії, навчався і закінчив Ніжинський фізико-математичний лицей князя Безбородька, а потім Санкт-Петербурзький інститут корпусу інженерів шляхів сполучення. Він відомий спеціаліст у

галузі будівельної механіки і мостобудування. Вперше запропонував метод визначення дотичних напружень у зігнутих балках. Вивів формулу для визначення дотичних напружень при згинанні балки – формулу Журавського, яку і сьогодні студенти-механіки вивчають у курсі опору матеріалів. Розробив теорію розрахунку мостових дерев'яних ферм, яка використовувалась під час проектування мостів. Був членом ради управління і віце-президентом Головного товариства російських залізниць. Кілька років працював головою будівельного відділу Імператорського технічного товариства. Лауреат Демидівської премії Петербурзької академії наук.



Журавський Д. І.

Одне з почесних місць серед видатних учених-механіків Чернігівщини заслужено належить Тимошенку Степанові Прокоповичу (1878–1973) – основоположнику теорії міцності матеріалів, будівельної механіки, теорії пружності та коливань. Він народився в с. Шпотівка Чернігівської губернії (нині Сумської обл.). У 1896–1901 рр. – студент, пізніше – асистент механічної лабораторії Санкт-Петербурзького інституту корпусу інженерів шляхів сполучення. Один із засновників і перших академіків Української академії наук. Засновник наукової школи у галузі механіки пружного тіла в США. Написав посібники і монографії, перекладені багатьма мовами. Заслуги С.П. Тимошенка відзначені різноманітними преміями і нагородами. Його іменем названий Інститут механіки Національної академії наук України. Академік безлічі академій світу і почесний доктор багатьох найвідоміших університетів. Працював деканом і завідувачем кафедри опору матеріалів Київського політехнічного інституту. Американське товариство інженерів-механіків заснувало медаль Тимошенка, якою нагороджують науковців за визначні досягнення в галузі прикладної механіки. Першим нею нагородили самого С.П. Тимошенка з таким обґрунтуванням: «За безцінний внесок і особистий приклад як лідера нової ери у прикладній механіці». Національна академія наук України заснувала премію ім. С.П. Тимошенка, яку присуджують за досягнення в галузі механіки.



Тимошенко С. П.

Відомий уже в радянські часи науковець у галузі механіки, генерал-майор інженерно-технічної служби, професор Філоненко-Бородич Михайло Митрофанович (1885–1962) народився в м. Глухів Чернігівської губернії (нині Сумської обл.). У 1909 році закінчив фізико-математичний факультет Київського імператорського університету імені Св. Володимира, а в 1914 році – Московський інститут корпусу інженерів шляхів сполучення. Трудову діяльність розпочав у 1912 р. з інженерної практики на залізницях. До 1930 року він працював у системі Народного комісаріату шляхів сполучення. І в цей період написав праці, що відносяться до механіки руху поїзда, до статистики й економіки транспорту. Основні напрямки його досліджень – теорія пружності, будівельна механіка, опір матеріалів. Як математик і інженер, М.М. Філоненко-Бородич багато сил віддав вирішенню практичних завдань будівництва споруд. Під його редакцією і за його участю написаний підручник з опору матеріалів, який неодноразово перевидавався. Заслужений діяч науки і техніки РРФСР.



Філоненко-Бородич М. М.

Український учений у галузі міцності матеріалів, академік АН УРСР Белянкін Федір Павлович (1892–1972) народився в м. Ніжин Чернігівської обл. У 1923 році закінчив Київський політехнічний інститут, де потім працював викладачем. Був завідувачем кафедри опору матеріалів КПІ. З 1944 по 1958 роки працював директором Інституту



Белянкін Ф. П.



Корноухов М. В.



Корольов С. П.



Боголюбов О. М.

механіки АН УРСР. Основні дослідження відносяться до теорії міцності матеріалів і інженерних конструкцій. Його наукові праці присвячені питанням міцності котельної і мостової сталі, вивченню фізико-механічних властивостей гірських порід, міцності деревини і дерев'яних конструкцій. Заслужений діяч науки і техніки УРСР.

Відомий науковець у галузі будівельної механіки, академік АН УРСР Корноухов Микола Васильович (1903–1958) народився в м. Ніжин Чернігівської обл. У 1928 році закінчив Київський політехнічний інститут. Працював викладачем у Київському інженерно-будівельному інституті. З 1940 по 1944 роки був директором Інституту механіки АН УРСР. Основні дослідження стосуються міцності і стійкості будівельних конструкцій – стержневих, пластинчастих, гладких і ребристих оболонок. М.В. Корноухов запропонував точний метод розрахунку стійкості плоских рам, досліджував стійкість просторових рамних каркасів. Розвинув теорію об'єднаного розрахунку на міцність і стійкість у межах і за межами пружності стержнів і стержневих систем. Лауреат державної премії СРСР. Заслужений діяч науки і техніки УРСР.

Основоположник виробництва ракетно-космічної техніки, академік АН СРСР Корольов Сергій Павлович (1907–1966) значну частину свого дитинства, з 1909 по 1914 роки, провів у м. Ніжин Чернігівської обл., а потім переїхав до Києва. В 1924–1926 роках навчався на механічному факультеті авіаційного відділення Київського політехнічного інституту. В 1926 році перевівся у Московське вище технічне училище імені М. Баумана. З IV курсу поєднував навчання з роботою в конструкторському бюро. Підсумки перших кроків ракетобудування С.П. Корольов виклав у книзі «Ракетний політ у стратосфері». Основний напрям його наукової діяльності – розроблення потужних ракетних систем. Під його керівництвом створено багато балістичних і геофізичних ракет, ракетноносіїв і пілотованих космічних кораблів, у тому числі й космічний корабель «Восток», який у 1961 році здійснив політ з першим у світі космонавтом Ю. Гагаріним. За допомогою цих ракет були здійснені запуски перших у світі штучних супутників Землі і Сонця, а також міжпланетних автоматичних станцій. Сергій Павлович Корольов всесвітньовідомий учений у галузі практичної космонавтики. Двічі Герой Соціалістичної Праці. Лауреат Ленінської премії.

Учений у галузі механіки й історії науки, член-кореспондент АН УРСР Боголюбов Олексій Миколайович (1911–2004) народився в м. Ніжин Чернігівської обл. У 1936 році закінчив Харківський університет. Один із засновників наукової школи з історії математики в Україні. Основні дослідження відносяться до історії механіки і математики та машинобудування, а також до теорії прискорень вищих порядків. Заслужений діяч науки і техніки України.

Науковець у галузі механіки і ракетно-космічних систем, академік АН УРСР Буднік Василь Сергійович (1913–2007) народився в с. Семенівка Чернігівської обл. У 1940 р. закінчив Московський авіаційний інститут. Основні наукові дос-

лідження відносяться до загальної механіки, механіки рідин і газів. Будучи заступником С.П. Корольова, брав безпосередню участь у створенні перших радянських балістичних ракет. Його наукові праці лягли в основу наукового напрямку по оптимальному проектуванню ракетно-космічних систем. Герой Соціалістичної Праці. Лауреат Ленінської премії. Заслужений діяч науки УРСР.

Учений у галузі механіки і технічної кібернетики, академік АН УРСР Кухтенко Олександр Іванович (1914–1994) народився в м. Городня Чернігівської обл. У 1936 році закінчив Донецький індустріальний інститут. Наукові роботи присвячені аналітичній механіці, теорії автоматичного управління, теорії систем. За особистої участі О.І. Кухтенка в Київському політехнічному інституті був створений науково-дослідний інститут міждисциплінарних досліджень (НДІМД). Ідеологічні основи міждисциплінарних досліджень, прогресивні наукові напрямки НДІМД, запропоновані Олександром Івановичем Кухтенком, послужили основою для створення Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» у системі НАН України та Міністерства освіти і науки України. Заслужений діяч науки УРСР. Двічі лауреат Державних премій України в галузі науки і техніки.

Уродженцем Чернігівщини є другий Президент незалежної України Кучма Леонід Данилович. Він народився в 1938 році в с. Чайкіно Чернігівської обл. У 1960 році закінчив фізико-технічний факультет Дніпропетровського державного університету за спеціальністю інженер-механік. Працював у ракетно-космічній галузі в конструкторському бюро «Південне». З 1986 по 1992 роки був генеральним директором виробничого об'єднання «Південний машинобудівний завод» – на той час найбільшого виробника військової та ракетно-космічної техніки у Радянському Союзі (м. Дніпропетровськ). З 1992 по 1993 роки був прем'єр-міністром України. Академік Міжнародної академії астронавтики. Лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки. Лауреат Ленінської премії.

Відомий учений у галузі механіки твердих тіл, що деформуються, академік АН УРСР Гузь Олександр Миколайович народився в 1939 році в м. Ічня Чернігівської обл. Закінчив механіко-математичний факультет Київського державного університету в 1961 році. Вся його наукова діяльність пов'язана з Інститутом механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, який він очолює з 1976 року. Основні дослідження присвячені механіці суцільних середовищ, теорії стійкості, концентрації напружень навколо отворів в оболонках і пластинах. З-під його пера вийшло близько 900 наукових робіт, у тому числі 56 монографій. Ім'я О.М. Гузя достатньо відоме у світовій науці. Його обрано членом-засновником Всесвітньої академії, він є членом Нью-Йоркської та Європейської академій наук. Науковець входить до складу редакційних колегій багатьох закордонних наукових журналів. Він – головний редактор міжнародного наукового часопису «Прикладна



Буднік В. С.



Кухтенко О. І.



Кучма Л. Д.



Гузь О. М.

механіка», голова Національного комітету України з теоретичної та прикладної механіки. Лауреат Державних премій СРСР і УРСР.

Поряд із знаменитими вченими-механіками нами було виявлено також прізвища менш відомих чернігівців, які працювали і досягли певних успіхів у різних галузях прикладної механіки. Це, насамперед, механіки-практики, механіки-винахідники, які брали участь у розробленні або створили конкретні корисні для суспільства машини й інші інженерні споруди.

Так, уродженець м. Короп Чернігівської обл., революціонер-народоволець Кибальчич Микола Іванович (1853–1881) розробив конструкцію реактивного літального апарата з системою управління. Запропонована ним конструкція і нині використовується в літаках з реактивними двигунами.

Не можна не згадати іншого нашого земляка, уродженця с. Осовець Чернігівської обл. Рощепія Якова Устиновича (1888–1957). Він був народним умільцем і мав усього чотирирічну освіту. Вперше у світі розробив конструкцію автоматичної гвинтівки. В 1914 році автоматична гвинтівка була схвалена артилерійським комітетом царської Росії і був виданий наказ на її виготовлення. Принцип роботи гвинтівки пізніше був використаний і модернізований радянськими і зарубіжними конструкторами зброї. У 1924 році Я.У. Рощепій сконструював модель самохідного зернового комбайна. Машина сама рухалася, підбирала колоски та обмолочувала їх. Всі деталі винахідник виготовляв власноручно.

Ці два прізвища механіків-практиків і винахідників є тільки яскравим прикладом важливості їх розробок. У дійсності таких прізвищ існує набагато більше. Механіки-практики не були членами відомих академій, часто не мали вчених звань і ступенів, а іноді не мали навіть відповідної освіти, але здійснили значний внесок у розвиток практичної механіки. Ці видатні чернігівці також заслуговують на увагу і пошанування. Їх імена не можна забувати і це є темою для подальшого окремого дослідження у цьому напрямку.



Рис. 2. Наукові праці вчених-механіків Чернігівщини, вибрані з фондів науково-технічної бібліотеки ЧНТУ

Висновки. У результаті проведеної роботи вперше у хронологічному порядку складений список і подані біографічні дані видатних учених-механіків Чернігівщини. Зроблена спроба оцінити сумарний внесок науковців Чернігівщини в розвиток древньої і

водночас сучасної науки – механіки. Їх розробки і відкриття допомагають фахівцям галузевих наук механіки вирішувати різноманітні конкретні проблеми, пов'язані з розрахунком, проектуванням, виготовленням і експлуатацією всієї множини технічних об'єктів, які необхідні людству. Написані ними праці: (монографії, підручники, довідники (рис. 2)) – використовуються в навчальних процесах вищих навчальних закладів України і світу, сприяють підвищенню якості підготовки майбутніх фахівців.

Після ознайомлення з наведеною інформацією у студентів-чернігівців під час користування науково-технічною літературою вчених-земляків повинно виникати почуття гордості за свій край.

Необхідно зазначити, що наведений у результаті пошуку перелік учених-механіків не є повністю вичерпним. Особливо це стосується механіків-практиків і винахідників, які згадуються лише частково. При більш ретельному пошуку можуть з'явитися додаткові імена знаменитостей. Тому виконані дослідження не можна вважати повністю завершеними, бо це тільки окремих етап популяризації Чернігівщини загалом і її наукових досягнень зокрема.

Список використаних джерел

1. Боголюбов А. Н. Математики, механики : библиографический справочник / А. Н. Боголюбов. – К. : Наукова думка, 1983. – 639 с.
2. Мытник Н. А. Краткая история корабельных наук (хронология событий с комментариями) / Н. А. Мытник. – 2-е изд. – Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 2004. – 197 с.
3. Писаренко Г. С. Степан Прокопович Тимошенко / Г. С. Писаренко. – К. : Наукова думка, 1979. – 193 с.
4. Режим доступу : <http://uk.wikipedia.org>.
5. Тимошенко С. П. Воспоминания / С. П. Тимошенко. – К. : Наукова думка, 1993. – 424 с.
6. Українська радянська енциклопедія : [в 16 т.] / голов. ред. колегія : М. П. Бажан (голов. ред.) та інші. – К. : Акад. наук УРСР : Голов. ред. Української радянської енциклопедії, 1961.
7. Українці в світі [Електронний ресурс]. – К., 2008-2014. – Режим доступу : <http://www.ukrainians-world.org.ua>.
8. Чернигов: городской портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gorod.cn.ua>.
9. Чернігівщина : енциклопедичний довідник / за ред. А. В. Кудрицького. – К. : Українська радянська енциклопедія, 1990. – 1005 с.

УДК 621.941.014.8

Д.П. Часов, ассистент

Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск, Украина

ВЛИЯНИЕ УГЛА АТАКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛОПАСТИ НА ДВИЖУЩУЮ СИЛУ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Д.П. Часов, асистент

Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

ВПЛИВ КУТА АТАКИ ДОДАТКОВОЇ ЛОПАТИ НА РУШІЙНУ СИЛУ ШНЕКОВОГО КОНВЕЄРА

Dmitriy Chasov, assistant

Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine

INFLUENCE OF AOA OF EXTRA BLADES ON THE DRIVING FORCE OF A SCREW CONVEYOR

Обосновано наиболее эффективные параметры угла атаки дополнительных лопастей шнекового конвейера, влияющих на величину движущей силы, необходимой для перемещения металлической стружки. Выполнен анализ влияющих сил и параметров на величину движущей силы. Разработана математическая модель зависимости движущей силы от угла атаки α дополнительной лопасти. Предложено метод развития модельных представлений процесса транспортирования металлической стружки на основании разработанных математических моделей угла атаки α дополнительных лопастей шнекового конвейера на базе ранее неописанных уравнений действующих сил и

их взаимосвязей. Получена графическая зависимость движущей силы от угла атаки α дополнительных лопастей с обоснованием эффективного диапазона.

Ключевые слова: дополнительная лопасть, угол атаки, движущая сила, шнековый конвейер.

Обґрунтовано найбільш ефективні параметри кута атаки додаткових лопатей шнекового конвеєра, що впливають на величину рушійної сили, необхідної для переміщення металевої стружки. Виконано аналіз сил і параметрів, що впливають на величину рушійної сили. Розроблено математичну модель залежності рушійної сили від кута атаки α додаткової лопаті. Запропоновано метод розвитку модельних уявлень процесу транспортування металевої стружки на підставі розроблених математичних моделей кута атаки α додаткових лопатей шнекового конвеєра на базі раніше неописаних рівнянь діючих сил і їх взаємозв'язків. Отримана графічна залежність рушійної сили від кута атаки α додаткових лопатей з обґрунтуванням ефективного діапазону.

Ключові слова: додаткова лопать, кут атаки, рушійна сила, шнековий конвеєр.

It is proved most effective parameters of the angle of attack of blades of the screw conveyor further affecting the magnitude of the driving force necessary for moving swarf. The analysis of the impact forces and the parameters on the driving force. A mathematical model of the driving force depending on the angle of attack α extra blades. Proposed method for the development of model representations of the process of transportation of metal shavings on the basis of the developed mathematical models of the angle of attack α additional blade screw conveyor on the basis of previously undescribed equations operating forces and their interrelationships. Received a graphical representation of the driving force from the angle of attack α of additional blades with justification effective range.

Key words: extra blade, angle of attack, the driving force, a screw conveyor.

Постановка проблеми. Одной из острых проблем машиностроения Украины является переработка и утилизация отходов процессов механической обработки – стружки и шлама. Ввиду того, что процесс переработки и утилизации осуществляется не на территории механических цехов и заводов, то вырождается не менее важная проблема транспортирования отходов от станка на последующие этапы переработки. Усредненные данные по массе металлоабразивных отходов одного машиностроительного предприятия составляют от 100 до 3000 т/год. Количество образующейся стружки и шлама в масштабах страны позволяет судить о глобальности вопроса. Наряду с экономической целесообразностью вопроса транспортирования отходов металлорежущих станков к участкам переработки, открытой остается и экологический аспект вопроса, поскольку хранение отходов влечет за собой бактерицидные образования, вследствие наличия на стружке элементов органического происхождения, входящих в состав СОЖ. Для транспортирования стружки используется конвейерный транспорт. Транспортирование отходов от станка до общецеховой магистрали представляет собой перемещение стружки на расстояние до двух метров. Транспортный канал находится ниже уровня пола. Транспортирование стружки от станка предусматривает подъем уровня материала. Исходя из технических характеристик, для транспортирования стружки от станка до общецеховой магистрали допустимо применимыми являются шнековый и гидросмывной конвейеры. Однако гидросмывной конвейер не обеспечивает подъем материала выше чем на 10° и энергозатраты превышают шнековый конвейер на малых расстояниях, что является в данном случае доминирующим фактором, до трех раз. Ввиду вышесказанного, шнековый конвейер является идеальным для транспортирования стружки от станка к общецеховой магистрали (табл.).

Согласно с концепцией перехода Украины к стойкому развитию, одним из стратегических мероприятий в промышленном секторе является внедрение безотходных или малоотходных технологий и рациональное использование ресурсов. Развитие промышленности предусматривает и увеличение продуктивности вспомогательных процессов. Однако в современном мире является нецелесообразным увеличение производительности за счет природных ресурсов. Прирост производительности необходимо получать за счет конструктивных и технологических модернизаций и инноваций. Таким образом, внедрение конструкционных модернизаций приводит не только к уменьшению технологической нагрузке на окружающую среду, но и к энерго- и ресурсосбережению, что является актуальным научно-практическим заданием для промышленности Украины.

Таблица

Технические характеристики конвейерного транспорта

Тип	Расстояние транспортирования, м	Производительность, т/ч	Потребляемая мощность, кВт/ч	Габаритные размеры, диаметр, ширина, м	Вид транспортируемой стружки	Угол подъема, град.	Энергоемкость транспортируемого материала, кВт/т
Ленточно-пластинчатый	2-100	5-125	30-125	500-1600	Скалывания, надлома	45°	6-1
Скребковый	20-100	20-200	22-110	500-1200 x 500-700	Надлома	40°	1,1-0,55
Шнековый	0,5-30	2-45	1,5-24	100-1000	Надлома	30°	0,75-0,55
Гидросмывной	0,5-10	0,5-60	1,1-50	20-400	Шлам, надлома	10°	2,2-0,85

Анализ последних исследований и публикаций. Многообразие конструкций шнековых механизмов, а также их основных геометрических и конструктивных параметров обусловлено широким ассортиментом перемещаемых материалов, имеющих различные физико-механические свойства. Спектр транспортируемых материалов настолько широк, что механика и кинематика движения различных материалов при взаимодействии с рабочими органами шнековых конвейеров может быть описана различными теориями.

Значительное количество исследований как отечественных, так и зарубежных авторов посвящено изучению процесса транспортирования материалов шнековым конвейером. К ним можно отнести работы А.А. Спиваковского, В.К. Дьячкова, А.М. Григорьева, М.П. Александрова, Р.Б. Гевко, Б.А. Катанова, Н.Н. Евстратова, К.А. Адигамова, Ю.А. Пертен, E.G. Fisher, G. Schenkel и др.

Во многих работах транспортируемый материал рассматривается в виде одной материальной точки, перемещаемой по винтовой поверхности спирали шнека. Такой подход можно считать обоснованным, поскольку процессы транспортирования объемных сыпучих материалов еще недостаточно изучены, хотя некоторые работы в этом направлении известны.

Несмотря на большое количество публикаций по транспортированию материалов шнековым конвейером, в них почти не рассмотрен вопрос влияния геометрии и конструкции шнека, в частности, дополнительных лопастей на самом шнеке, на производительность процесса транспортирования, хотя этот вопрос представляет несомненный интерес и требует специального изучения.

Выделение не решенной ранее части общей проблемы. Годовая масса отходов в виде стружки образовывается и транспортируется в течении всего года. Количество стружки, поступающей в желоб конвейера, не равномерно распределено в течении года и каждой отдельной смены. Ввиду этого конвейер непостоянно и неравномерно загружен. Если конвейер использовать только в дежурном режиме и включать только при определенном наполнении, то возможен момент невозможности транспортирования из-за недостаточной производительности конвейера. Для избегания подобных ситуаций можно применить конвейер, содержащий более габаритный желоб и, следовательно, обладающий большей производительностью. Использование желоба большего диаметра предусматривает и использование большего шнека как основного элемента винтового конвейера, отвечающего за производительность. Тем не менее увеличение габаритных

размеров влечет за собою и увеличение энергоемкостных затрат и расходов на обслуживание конвейера. С учетом вышесказанного целесообразно и энергоэффективнее использовать малогабаритные шнековые конвейеры в постоянном режиме работы, а момент резкого увеличения наполняемости желоба компенсировать модернизацией конструкции шнекового конвейера с сохранением габаритных размеров и энергоемкости привода.

Цель статьи. Главной целью этой работы является разработка методик использования и эффективных технических параметров дополнительных лопастей на самом теле пера шнека, наличие которых влияет на величину движущей силы перемещения металлической стружки шнековым конвейером.

Изложение основного материала. Аналитические исследования процесса транспортирования металлической стружки шнековым конвейером базируются на условии равновесия при переходе от состояния покоя к движению. При вращении шнека на стружку, находящуюся на поверхности дополнительной лопасти, будут действовать гравитационные и центробежные силы. Составим уравнение равновесия, исходя из схемы сил, действующих на металлическую стружку (рис. 1).

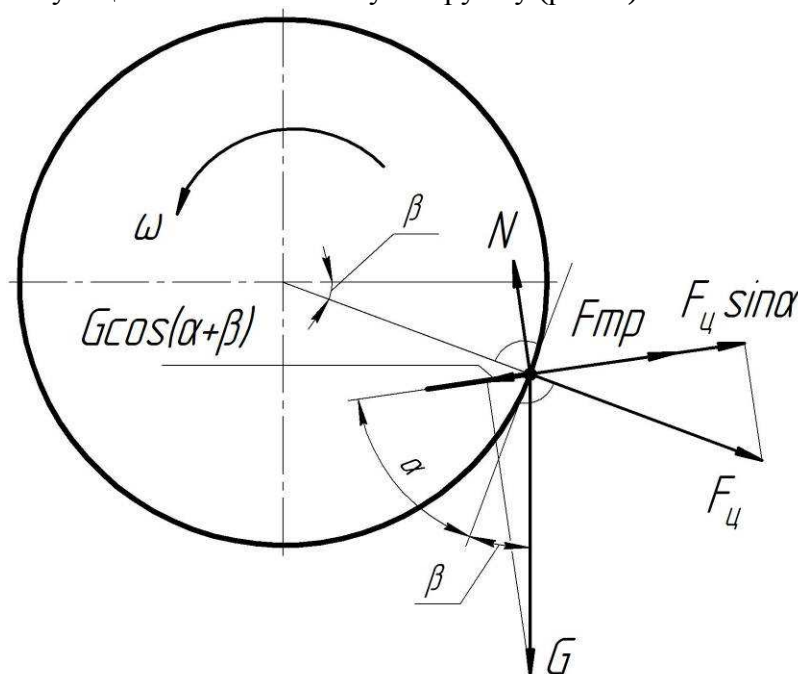


Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу металлической стружки в фронтальном сечении

Из уравнения равнодействующих сил следует:

$$-F_{\text{тр}} + G \cos(\alpha + \beta) - F_{\text{ц}} \cdot \cos(90 - \alpha) = 0, \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н;

G – сила тяжести, Н;

$F_{\text{ц}}$ – центробежная сила, Н.

Сила трения определяется из соотношения

$$F_{\text{тр}} = N \cdot f_{\text{тр}},$$

здесь N – сила реакции опоры;

$f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения.

Сила тяжести определяется по уравнению

$$G = mg,$$

где m – масса частицы металлической стружки;

g – ускорение свободного падения.

Центробежная сила определяется по формуле:

$$F_{\text{ц}} = m\omega^2 R,$$

здесь m – масса частицы металлической стружки;

ω – угловая скорость;

R – радиус шнека.

Влияние угла атаки и количества дополнительных лопастей на транспортировочную способность шнекового конвейера можно рассматривать как изменение величины движущей силы транспортируемого материала.

Из физической сущности процесса перемещения частицы металлической стружки по спирали вдоль оси шнека (спирали) следует, что с увеличением угла подъема спирали увеличиваются силы сопротивления движению частицы металлической стружки.

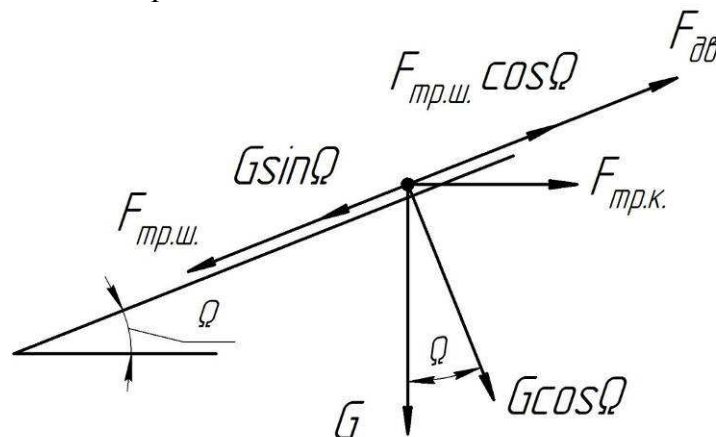


Рис. 2. Схема сил, действующих на частицу металлической стружки вдоль оси шнека (спирали)

Из схемы сил, действующих на частицу металлической стружки вдоль оси шнека (спирали) (рис. 2), следует, что силой, которая способствует перемещению частицы материала по спирали, является сила трения частицы металлической стружки о кожух $F_{\text{тр.к.}}$. Силой, препятствующей перемещению частицы металлической стружки, является сила трения о шнек $F_{\text{тр.ш.}}$ и составляющая силы веса частицы металлической стружки $G \sin \alpha$. Разница между первой силой и суммой двух других позволяет определить силу, которая движет частицу материала по спирали:

$$F_{\text{дв}} = m \cdot [\omega^2 R \cos \Omega f_{\text{к}} - g (\sin \Omega + \cos \Omega f_{\text{ш}})], \quad (2)$$

где ω – угловая скорость шнека;

R – радиус шнека;

Ω – угол подъема спирали шнека;

$f_{\text{к}}$ – коэффициент трения материала о кожух;

$f_{\text{ш}}$ – коэффициент трения материала о шнек.

Установленные дополнительные лопасти на самом шнеке позволяют рассматривать силы, действующие на частицу металлической стружки, во фронтальной плоскости (рис. 1) в совокупности с силами, действующими на частицу металлической стружки в горизонтальной плоскости (рис. 2). Силы, действующие на частицу металлической стружки во фронтальной плоскости, обусловлены углом атаки дополнительной лопасти – α и углом, под которым размещенная частица металлической стружки на дополнительной лопасти начинает движение – β .

Объединив уравнения (1) и (2), получаем расчетную формулу движущей силы для шнекового конвейера с дополнительными лопастями:

$$\begin{aligned}
F_{\text{дв}} &= m \cdot \left[\omega^2 R \cos \Omega f_k - g (\sin \Omega + \cos \Omega f_{\text{ш}}) \right] - F_{\text{тр}} + G \cos (\alpha + \beta) - F_{\text{ц}} \cdot \cos (90 - \alpha) = \\
&= m \cdot \left[\omega^2 R \cos \Omega f_k - g (\sin \Omega + \cos \Omega f_{\text{ш}}) \right] - N f_{\text{тр}} + m \omega^2 R \cos (90 - \alpha) + m g \cos (\alpha + \beta) = \\
&= m \cdot \left[\omega^2 R \cos \Omega f_k - g (\sin \Omega + \cos \Omega f_{\text{ш}}) \right] + g \cos (\alpha + \beta) - \omega^2 R \cos (90 - \alpha) - N f_{\text{тр}} = \\
&= m \cdot \left[\omega^2 R \cos \Omega f_k - g (\sin \Omega + \cos \Omega f_{\text{ш}} - \cos (\alpha + \beta)) - \omega^2 R \cos (90 - \alpha) \right] - N f_{\text{тр}} = \\
&= m \cdot \left[\omega^2 R (\cos \Omega f_k - \cos (90 - \alpha)) - g (\sin \Omega + \cos \Omega f_{\text{ш}} - \cos (\alpha + \beta)) \right] - N f_{\text{тр}}.
\end{aligned}$$

С учетом сил, действующих на частицу в горизонтальной и фронтальной плоскостях, итоговая формула для определения движущей силы имеет вид:

$$F_{\text{дв}} = -N f_{\text{тр}} + m \cdot \left[\omega^2 R (\cos \Omega f_k - \cos (90 - \alpha)) - g (\sin \Omega + \cos \Omega f_{\text{ш}} - \cos (\alpha + \beta)) \right], \quad (3)$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения материала о дополнительную лопасть.

Анализ уравнений (2) и (3) показывает, что для уменьшения движущей силы для транспортирования металлической стружки шнековым конвейером с дополнительными лопастями по сравнению с ранее известным классическим строением шнекового конвейера (рис. 3) значимое влияние оказывают угол атаки дополнительной лопасти – α и угол, под которым размещенная частица металлической стружки на дополнительной лопасти начинает движение – β .

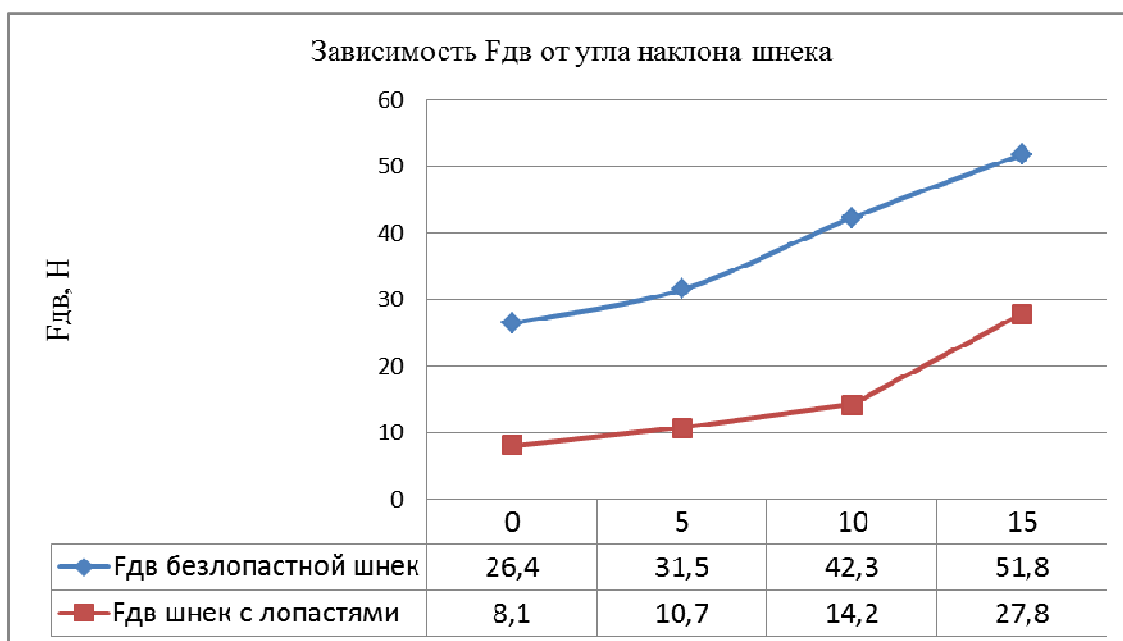


Рис. 3. Зависимость движущей силы от угла наклона шнека

Анализ изменения интенсивности движущей силы в зависимости от угла наклона спирали шнека по сравнению с классическим шнековым конвейером с дополнительными лопастями показал, что интенсивность движущей силы пропорциональна углу наклона спирали шнека.

На основе анализа уравнения (3) получаем зависимость движущей силы от угла атаки дополнительных лопастей шнекового конвейера, отображенную на графике зависимости движущей силы от угла атаки лопастей (рис. 4).

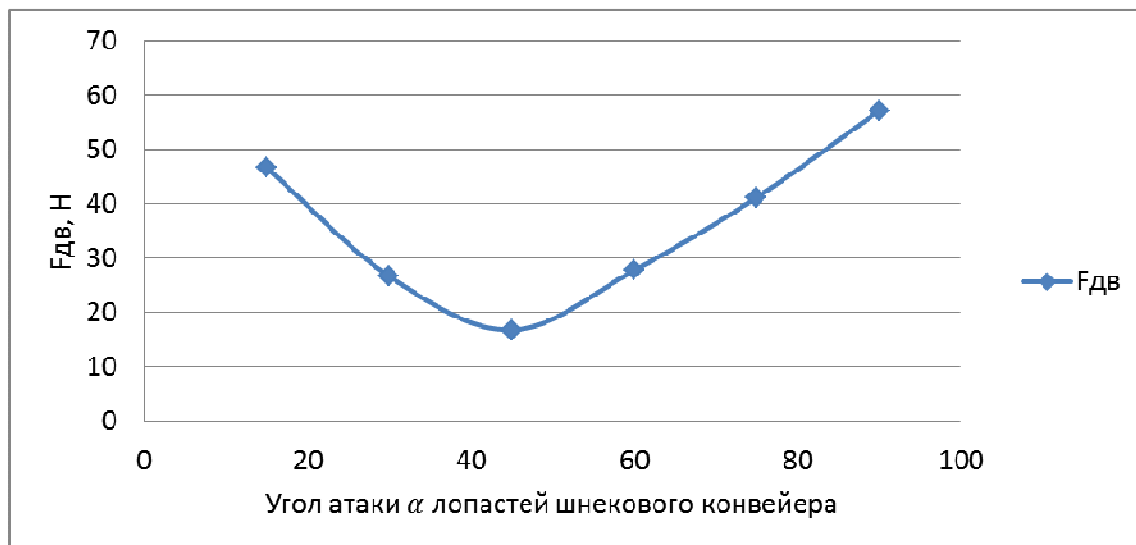


Рис. 4. Зависимость движущей силы от угла атаки лопастей

Из рис. 4 видно, что эффективный диапазон угла атаки лопастей, при котором значение движущей силы наименьшее, находится в пределах от 30 до 60° с прогнозируемым пиковым значением, приближенным к 45°.

Выводы и предложения. На основании полученной математической модели и проведенных экспериментальных исследований установлено, что дополнительные лопасти оказывают влияние на величины движущей силы шнекового конвейера; наиболее эффективный диапазон угла атаки лопастей, при котором значение движущей силы наименьшее, находится в пределах 45°.

Список использованных источников

1. Адигамов К. А. Кинематика вертикального шнекового конвейера с неподвижным кожухом / К. А. Адигамов, В. В. Ширяев, С. Н. Байбара // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. – 2004. – С. 199–201.
2. Патент Украины № 68113. МПК В65G 33/14. Винтовой конвейер / Р. Б. Гевко и др. : заявл. 29.09.2011 ; опубл. 12.03.2012. Бюл. № 5/2012.
3. Першин В. Ф. Экспериментальное исследование характера движения сыпучего материала вдоль оси барабанного смесителя / В. Ф. Першин, Ю. Т. Селиванов, А. В. Орлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 265–271.
4. Черненко Г. В. Обоснование параметров вертикального шнекового конвейера с оребренным кожухом для транспортирования сыпучих материалов : дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Черненко. – Шахты, 2010. – 135 с.

РОЗДІЛ II. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 541.18:546.59:547.796

М.І. Воробйова, канд. техн. наук

О.А. Пивоваров, д-р техн. наук

ДВНЗ УДХТУ, м. Дніпропетровськ, Україна

ФОРМУВАННЯ КОЛОЇДНИХ НАНОЧАСТОК СРІБЛА З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ AgNO_3 ПІД ДІЄЮ КОНТАКТНОЇ НЕРІВНОВАЖНОЇ ПЛАЗМИ

М.И. Воробьева, канд. техн. наук

А.А. Пивоваров, д-р техн. наук

ГВУЗ УДХТУ, г. Днепропетровск, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ AgNO_3 ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОНТАКТНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ

Marharyta Vorobyova, PhD in Technical Sciences

Oleksandr Pivovarov, Doctor of Technical Sciences

Ukrainian State University of Chemical-Technology, Dnipropetrovsk, Ukraine

FORMATION OF THE COLLOID SILVER NANOPARTICLES FROM AQUEOUS SOLUTIONS AgNO_3 UNDER THE INFLUENCE OF THE CONTACT NONEQUILIBRIUM PLASMA

Показано ефективність використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми для одержання наночастинок срібла з водних розчинів AgNO_3 без додаткового введення відновників та високомолекулярних стабілізаторів. Встановлено вплив початкової концентрації прекурсору та електричних параметрів плазмохімічної обробки на процес синтезу золів. Досліджено вплив тривалості плазмохімічної обробки на формування часток срібла. Проведено аналіз геометричних параметрів одержаних часток. Продemonстровано здатність одержаних часток до стабільності утримання форми та розмірів впродовж тривалого часу без використання стабілізатора.

Ключові слова: одержання, золь, срібло, розчини, нітрат срібла, наночастки, контактна нерівноважна низькотемпературна плазма.

Показана ефективність использования контактной неравновесной низкотемпературной плазмы для получения наночастиц серебра из водных растворов AgNO_3 без дополнительного введения восстановителей и высокомолекулярных стабилизаторов. Установлено влияние начальной концентрации прекурсора и электрических параметров плазмохимической обработки на процесс синтеза золей. Исследовано влияние продолжительности плазмохимической обработки на процесс синтеза золей. Проведен анализ геометрических параметров полученных частиц. Продemonстрирована способность полученных частиц к стабильности удержания формы и размеров на протяжении длительного времени без использования стабилизатора.

Ключевые слова: получения, золь, серебро, растворы, нитрат серебра, наночастицы, контактная неравновесная низкотемпературная плазма.

This paper shows the efficiency of the contact nonequilibrium low-temperature plasma to produce silver nanoparticles from AgNO_3 aqueous solutions without additional input and reducing macromolecular stabilizers. The influence of the initial concentration of precursor and electrical parameters of plasma-chemical treatment process for the synthesis of sols. The effect of duration of plasma chemical treatment on the formation of silver particles. The analysis of the geometrical parameters obtained particles. Demonstrated ability to particles obtained stability maintenance forms and sizes for a long time without a stabilizer.

Key words: obtaining, sol, silver, solutions, silver nitrate, nanoparticles, contact nonequilibrium low-temperature plasma.

Вступ. В останні десятиліття істотно зріс інтерес до синтезу нанорозмірних частинок, зокрема, наночастинок окремих металів. У першу чергу це пов'язано з тим, що наноб'єкти істотно відрізняються своїми властивостями від макрооб'єктів. Це привело до відкриття нових можливостей їх застосування для отримання нових матеріалів з якісно іншими характеристиками, які знаходять все більше застосування в різних галузях науки і техніки [1]. Так, останнім часом наноматеріали використовуються для отримання ефективних та виборчих каталізаторів, для створення елементів мікроелектронних і оптичних пристроїв, синтезу матеріалів з унікальними властивостями. Крім того, існує можливість застосування наночастинок для отримання медичних і біологічних препаратів.

Методи отримання наночасток (НЧ) можна розділити на фізичні та хімічні [2]. У фізичних методах наночастинки утворюються внаслідок подрібнення великих металевих частинок за допомогою колоїдних млинів або ультразвукового диспергування (термічне випаровування НЧ при обробці лазером, електричною дугою тощо, конденсацію вихідного матеріалу у вакуумі, механохімічним диспергуванням, електроерозією, літографією), а в хімічних методах наночастки отримують у результаті хімічного відновлення в розчині іонів металів (термічного або радіаційного відновлення металовмісних сполук, розкладання при впливі УЧ-випромінювання, температури або синтезу у зворотних міцелах, на межі розділу фаз або золь-гель методу). На початку 1990-х років широке використання радіаційно-хімічного методу дозволило за короткий термін суттєво розширити коло металів, що отримують у нанорозмірному стані з водних розчинів [3]. Проте він є енергоємними, що здорожує собівартість отриманої продукції. У зв'язку з чим розроблення нових високоефективних технологій, спрямованих на отримання нанорозмірних неорганічних сполук, нині є актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій. Детальний аналіз напрацювань вітчизняних та зарубіжних учених із зазначеної проблеми [4–6] свідчить, що на сьогодні, перспективними для синтезу дисперсних матеріалів є застосування нерівноважної плазми. Окремі наукові співтовариства застосовують останню переважно у газовій фазі, з цією метою застосовують коронний, бар'єрний або іскровий плазмові розряди. Окреме місце серед плазмохімічних розрядів займає контактна нерівноважна низькотемпературна плазма [7]. Плазмовий розряд генерується між електродом, що знаходиться в газовій фазі, та поверхнею рідини, в об'ємі якої знаходиться інший електрод. Таким чином, хімічні перетворення на границі розподілу фаз обумовлені комплексним впливом електрохімічного окиснення-відновлення; реакціями фотолізу, що ініціюються, УФ-опромінюванням; потоком заряджених часток з газової фази на поверхню рідкого середовища [8]. У попередній роботі авторами показана ефективність використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми (КНП) для синтезу наночасток золота [9].

Цілі і завдання досліджень. Тому з метою розширення кола металів, отриманих плазмохімічним способом, завданням роботи є дослідження ефективності синтезу срібла із використанням контактної нерівноважної низькотемпературної плазми.

Для досягнення цієї мети вирішувались такі завдання:

- дослідити ефективність використання контактної нерівноважної плазми для синтезу наночасток срібла з водних розчинів без додаткового введення відновників та високомолекулярних стабілізаторів;
- встановити вплив концентрації прекурсору та енергетичних параметрів обробки водних розчинів AgNO_3 з метою отримання наночасток відновленого срібла;
- із застосуванням аналітичного обладнання загального та спеціального призначення та обладнання, що є типовим для фізико-хімічного аналізу нанорозмірних неорганічних сполук, дослідити геометричні параметри синтезованих наночасток.

Методика синтезу та аналіз сполук, одержаних плазмохімічним способом. Формування колоїдних розчинів наночасток срібла здійснювали за допомогою відновлення водного розчину нітрата срібла. Процес протікає за такою схемою: $\text{AgNO}_3 + [\text{відновник}] \rightarrow \text{наночастки срібла}$. У роботі використовувався нітрат срібла марки «ч.д.а.», розчини виготовляли із використанням дистильованої води. Плазмохімічну обробку таких розчинів проводили в газорідному плазмохімічному реакторі періодичної дії, схема і параметри роботи якого представлено в роботі [8]. Абсорбційну спектроскопію було використано для первинного аналізу присутності наночасток, синтезованих із використанням контактної нерівноважної низькотемпературної плазми. Оптичні спектри золів реєстрували на спектрофотометрі Specord 210 plus BU в діапазоні 315–950 нм. Виміри проводилися при кімнат-

ній температурі. Розмір і форму часток золів визначали за допомогою електронного мікроскопа «Jem 1010» (JEOL) при робочому значенні напруги 200 кВ. Зразки готували шляхом чотириразового центрифугування колоїдів з відділенням осаду, редиспергюванні їх у метанолі і наступним нанесенням спиртової дисперсії на мідну сітку, покриту шаром аморфного вуглецю (200 mesh, Ted Pella, Inc., США), та сушінням на повітрі. Рентгенофазовий аналіз дисперсної фази отриманих колоїдних розчинів срібла із використанням рентгенівського дифрактометра ДРОН-2, в $\text{CoK}\alpha$ -випромінненні в інтервалі кутів $2\theta = 20 \div 100^\circ$. Для виділення дисперсної фази наночастинок колоїдний розчин у хлороформі наносили на підкладку і залишали на повітрі до повного випаровування розчинника.

Одержання колоїдних розчинів срібла під дією контактної нерівноважної низькотемпературної плазми. Достовірно відомо [8], що при впливі КНП на водне середовище має місце утворення активних часток – електронів, які у ньому будуть знаходитися у сольватованому стані $e^-(aq)$:



Відповідно до [10] сольватовані електрони при взаємодії у водному розчині з іонами срібла відновлюють його до металевого срібла відповідно до реакції:



Експериментальні дослідження показали, що використання КНП є ефективним інструментом синтезу золів срібла. Спостереження свідчать, що останні являють собою окрашені дисперсні системи. Залежно від мольного співвідношення метал:відновник, що обумовлено тривалістю та параметрами обробки розчину КНП, колір синтезованих золів срібла змінюється від майже прозорого до зелено-коричневого.

Характерною рисою наночастинок є їх взаємодія з електромагнітним випромінюванням. Особливістю спектрів поглинання наночастинок розміром більше 2 нм є присутність широкої смуги поверхнево-плазмонного резонансу (ППР) у видимій області або в прилеглий до неї ближньої УЧ-області. На рис. 1 показані спектри досліджуваного розчину при поетапному його опроміненні КНП при кімнатній температурі. Встановлено, що по мірі збільшення часу плазмохімічного опромінення, тобто зростання концентрації одержуваного у плазмохімічному процесі відновника (H_2O_2), відбувається підвищення інтенсивності оптичного поглинання розчину і помітна зміна у структурі спектра. Смуга поглинання з максимумом 418 нм отримана після припинення впливу КНП рис. 1 (крива 4) відповідає ППР ізольованих і слабо взаємодіючих наночастинок срібла, синтезованих у результаті дії контактної нерівноважної плазми на розчин ($\text{CAgNO}_3 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $I=120$ мА та $P=0,8$ МПа).

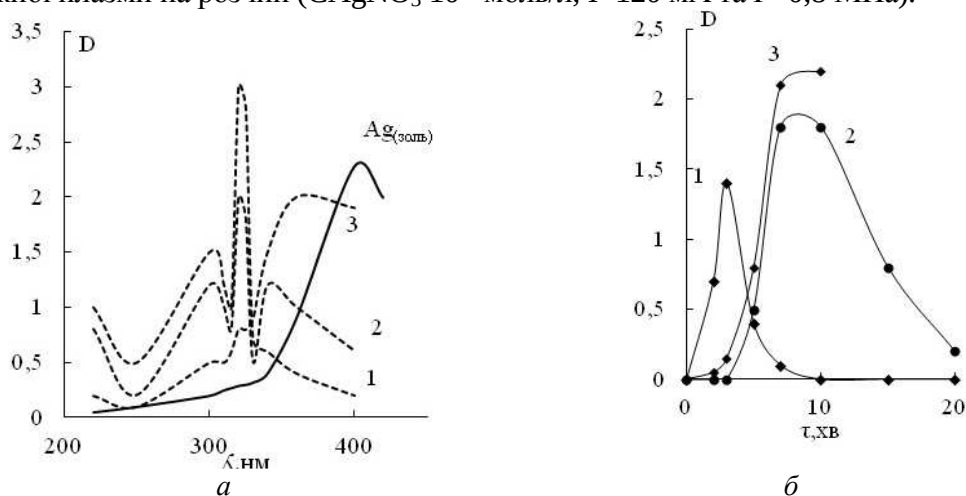


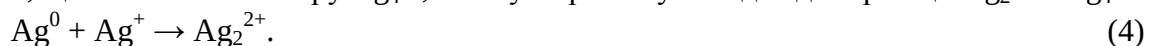
Рис. 1. Спектри поглинання розчину срібла залежно від тривалості обробки КНП (а) хв: 1 – 3-4; 2 – 7; 3 – 10; 4 – 15; (б) залежність оптичного поглинання кластера Ag_4^{2+} при 275 нм (1), Ag_8^{2+} (2) і поглинання кластерів срібла при 360 нм (3) від часу дії КНП

Аналіз спектрів поглинання розчину солі після впливу КНП свідчить, що виділенню наночастинок металу передують ряд проміжних стадій утворення, нестійких «магічних» кластерів, які у процесі їх послідовного злиття формують більші частинки аж до появи квазіметалевих і далі нанорозмірних частинок відповідно до реакції: $\text{Ag}_2^+ \rightarrow \text{Ag}_3^{2+} \rightarrow \text{Ag}_4^{2+} \rightarrow \text{Ag}_8^{2+}$ і т. ін.

Вірогідно, з перших хвилин плазмохімічної обробки водні електрони, що утворюються у середовищі під впливом КНП, ініціюють відновлення Ag^+ іонів:



Через 3-4 хв (рис. 1, крива 1) впливу КНП у спектрі зразка виразно фіксується смуга поглинання при 300–310 нм, що характерна утворенню кластера Ag_2^{2+} . Та смуга 275–280 нм, що належить кластеру Ag_4^{2+} , який утворений унаслідок димеризації Ag_2^{2+} в Ag_4^{2+} .



Через 7 хв фіксується поява двох виразних смуг з максимумами при 290 і 330 нм (рис. 1, крива 2), обумовлених утворенням інших відомих кластерів срібла, а саме, Ag_8^{2+} . Останній є досить стійким, його тривалість існування вимірюється десятками хвилин. Підвищення тривалості обробки розчину КНП до 10 хв призводить до зникнення цього кластера, яке супроводжується появою спочатку широкої смуги при 350–370 нм (рис. 1, крива 3), що належить квазіметалічним часткам. У подальшому відбувається поступове зміщення смуги поглинання квазічастинок до довжини хвилі 390 нм і подальше зростання інтенсивності цієї смуги, яка обумовлена поглинанням наночастинок срібла, що виникають на заключній стадії агрегації проміжних кластерів (рис. 2, крива 4). З рис. 1, б видно, що утворенню складних кластерів і часток срібла (рис. 2, крива 2 і 3 при 330 і 360 нм відповідно) передують деякий індукційний період, що відповідає утворенню найпростішого кластера Ag_4^{2+} (рис. 2, крива 1 при 275 нм), після чого спостерігається зростання швидкості нуклеації срібла. Таким чином, кластери Ag_4^{2+} виступають попередниками формування центрів нуклеації срібла, що приводить до утворення фази металу.

Досліджено вплив концентрації прекурсору AgNO_3 у вихідному розчині на ефективність синтезу золів срібла (рис. 2).

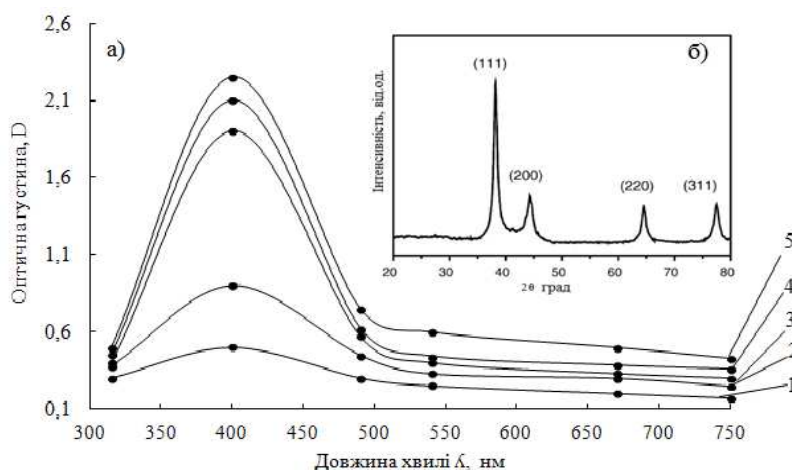


Рис. 2. Спектри поглинання золів срібла (а), отриманих із використанням контактної нерівноважної низькотемпературної плазми, залежно від початкової концентрації AgNO_3 ($I=120$ мА, $P=0,8$ МПа, $\tau=15$ хв): 1 – $4 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 2 – $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 3 – $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 4 – $0,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 5 – $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; рентгенограма дисперсної фази колоїдного розчину срібла ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л), одержаного під дією КНП (б)

Характер отриманих спектрів (рис. 2) свідчить про утворення монодисперсних наночастинок срібла під дією контактної нерівноважної плазми на розчин AgNO_3 . Встановлено, що з ростом концентрації срібла з 10^{-5} до 10^{-3} моль/л відбувається збільшення максимуму ППР поглинання в межах 380–420 нм (рис. 2, крива 2-5), що свідчить про

найбільшу концентрацію синтезованих наночастинок, діаметр яких відповідно становить від 5 до 20 нм. Підтвердженням є також зростання інтенсивності вузьких рефлексів від кристалографічних площин (111), (200), (220) і (311), що спостерігаються при кутах, рівних $37,7\text{--}38,1^\circ$; $44,3\text{--}45,2^\circ$; $66,7\text{--}77,3^\circ$ і у разі збільшення концентрації срібла свідчать про сформовані кристалічні решітки (рис. 3, а, б, в). Підвищення концентрації AgNO_3 до $4 \cdot 10^{-3}$ моль/л призводить до зменшення інтенсивності резонансних ліній в отриманому спектрі, проте без зміщення абсорбційного резонансного піку, що свідчить про збереження сформованого розміру часток відновленого срібла. Однак рентгенограма дисперсної фази (рис. 3, г), виділеної з колоїдного розчину наночастинок срібла, одержаних під дією КНП, вказує на відсутність інтенсивних піків в області $2\theta = 40\text{--}80^\circ$, що свідчать про утворення аморфних частинок срібла.

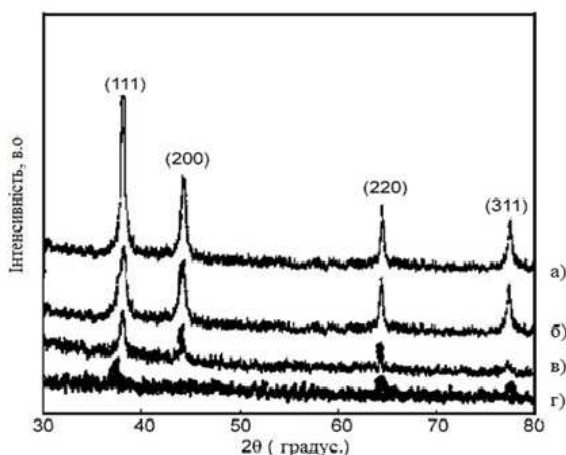


Рис. 3. Рентгенограма дисперсної фази колоїдного розчину срібла, отриманих із використанням контактної нерівноважної низькотемпературної плазми, залежно від початкової концентрації AgNO_3 ($I=120$ мА, $P=0,8$ МПа, $\tau=15$ хв): а – $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; б – $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; в – $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л; г – $4 \cdot 10^{-3}$ моль/л

Досліджено вплив сили струму на процес синтезу наночастинок. Результати представлено на рис. 4.

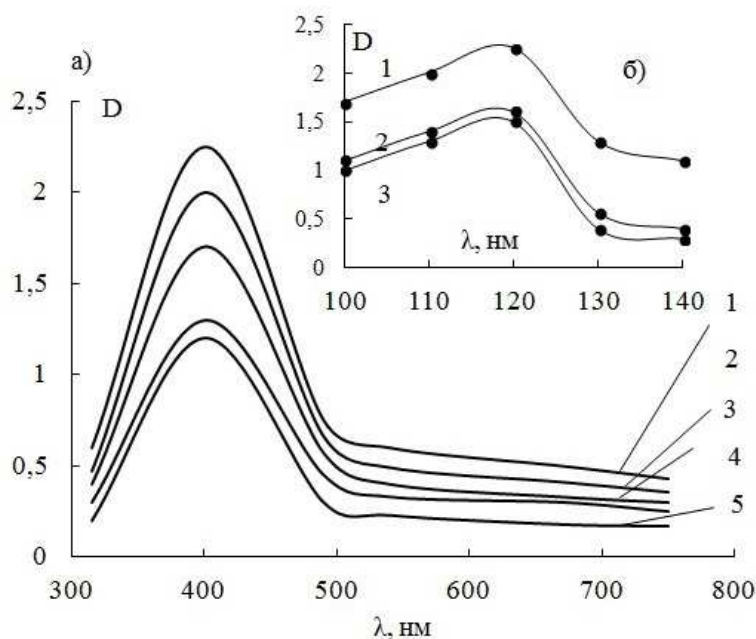


Рис. 4. Спектри поглинання золів срібла (а), одержаних із використанням контактної нерівноважної низькотемпературної плазми, залежно від: а – сили струму: 1 – 100; 2 – 110; 3 – 120; 4 – 130; 5 – 140; б – концентрації прекурсору: 1 – $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 2 – $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 3 – $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л

Встановлено, що характерний резонансний пік у спектрі зразків є незмінним (рис. 4, а), а висота його змінюється залежно від сили струму та початкової концентрації AgNO_3 . (Дослідження проводили при $\text{C}_{\text{AgNO}_3} 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $I=120$ мА, $P=0,8$ МПа). При концентраціях у розчині $\text{C}_{\text{AgNO}_3} 10^{-3}-10^{-5}$ моль/л (рис. 4, б, лінія 1–3) зростання сили струму збільшує інтенсивність резонансного піка, при цьому спостерігається екстремальний характер залежності з максимальними значеннями інтенсивності резонансного піку при силі струму 120 мА, що вказує на найбільшу ефективність процесу відновлення і підвищення концентрації синтезованих наночастинок срібла.

Для характеристики наночастинок срібла, синтезованих із використанням контактної нерівноважної плазми, отримані зразки піддавалися електронно-мікроскопічному дослідженню. Дослідженню піддавали наночастки срібла, отримані з водних розчинів з концентрацією $\text{C}_{\text{AgNO}_3} 10^{-3}$ моль/л. За даними електронної мікроскопії, під дією КНП утворюється дисперсна фаза з агрегатованих та дискретних наночастинок різної переважно сферичної форми (рис. 5, а, б, в). Розмір отриманих частинок срібла знаходяться в діапазоні від 7 до 20 нм і від 22 до 35 нм при середньому діаметрі 11 нм.

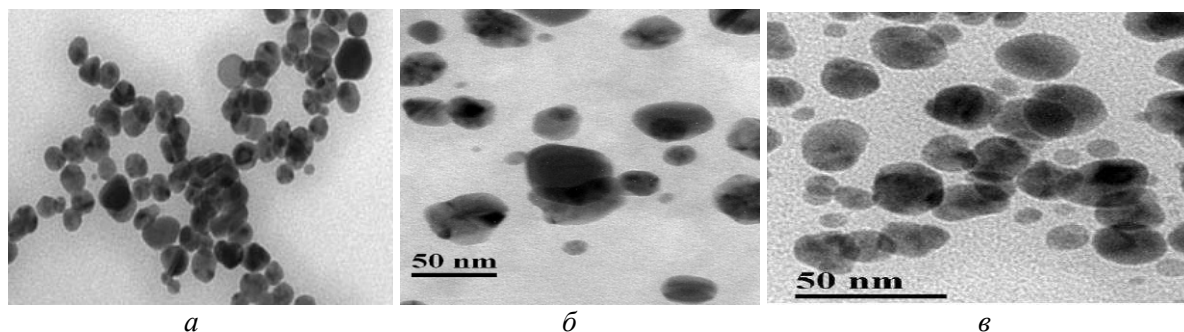


Рис. 5. Мікрофотографії частинок Ag у складі золів, отриманих шляхом відновлення 10^{-3} моль/л AgNO_3 з використанням контактної нерівноважної низькотемпературної плазми

Важливим фізико-хімічним показником синтезованих золів наночастинок є їх здатність до стабільності утримання форми та розмірів впродовж тривалого часу. Було досліджено тривалість «життя» золів срібла, отриманих під дією КНП. Результати досліджень представлені на рис. 6.

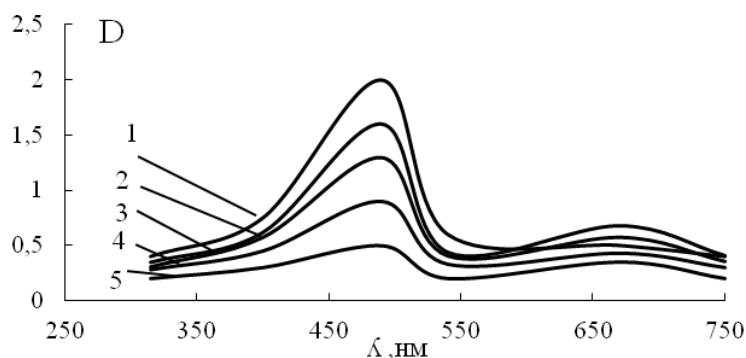


Рис. 6. Спектри поглинання золю срібла, отриманого із використанням КНП при вихідній концентрації ($\text{AgNO}_3 \cdot 10^{-3}$ моль/л), після зберігання протягом τ в год: 1–2; 2–4; 3–8; 4–15; 5–24

Аналізуючи спектри поглинання, можна припустити можливість коагуляції і перекристалізації, що ілюструється появою додаткової смуги поглинання на залежності оптичної щільності від довжини хвилі або нового максимуму в довгохвильовій частині спектра. Встановлено, що при короткотерміновому збереженні золів впродовж 2 год (рис. 6, крива 1) відбувається незначне зниження інтенсивності оптичної щільності. Збільшення терміну зберігання до 4–15 год сприяє коагуляції наночастинок, про що свідчить утворення нового піку в області довгохвильової частини спектра (рис. 6).

Висновки. У роботі представлено дані ефективності використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми для одержання золів срібла з водних розчинів без додаткового введення відновників та високомолекулярних стабілізаторів. За допомогою УФ-спектроскопії в плазмохімічно оброблених розчинах фіксують присутність піка поверхневого плазмонного максимуму поглинання при 400–420 нм, що є характерним для сферичних наночастинок срібла. Досліджено вплив початкової концентрації прекурсору та енергетичних параметрів плазмохімічного впливу на процес синтезу золів. Досліджено геометричні параметри одержаних частинок. Встановлено, що в результаті синтезу із використанням плазми утворюється дисперсна фаза із агрегованих та дискретних наночастинок переважно сферичної форми. Діаметр отриманих наночастинок варіюється в діапазоні від 7 до 35 нм.

Список використаних джерел

1. Vasilkov A. Yu. Peculiarities of Cobalt Nanometer Scale Particle Nucleation on an Alumina Surface / A. Yu. Vasilkov, A. Yu. Olenin, E. F. Titova, V. A. Sergeev // J. Coll. Interface Sci. – 1995. – Vol. 169. – № 2. – P. 356–360.
2. Savage Nora. Nanomaterials and water purification: Opportunities and challenges / Nora Savage, Mamadou S. Diallo // Journal of Nanoparticle Research. – 2005. – № 7. – P. 331–342.
3. Behrouz S. Radiolysis of silver ion solutions in ethylene glycol: solvated electron and radical scavenging yields / Behrouz Soroushian, Isabelle Lampre, Jacqueline Belloni, Mehran Mostafavi // Radiation Physics and Chemistry – 2005. – Vol. 72. – P. 111–118.
4. McKenna1, J. Synthesis and surface engineering of nanomaterials by atmospheric-pressure microplasmas / J. McKenna1, J. Patel1, S. Mitra, N. Soin1, V. Švrček, P. Maguire, D. Mariotti // Eur. Phys. J. Appl. Phys. – 2011. – Vol. 56, Issue 24020. – P. 303–333.
5. Kaneko, T. Static gas-liquid interfacial direct current discharge plasmas using ionic liquid cathode / T. Kaneko, K. Baba, R. Hatakeyama // Journal of Applied Physics. – 2009. – Vol. 105, Issue 10. – P. 103–306.
6. Richmonds, C. Plasma-liquid electrochemistry: Rapid synthesis of colloidal metal nanoparticles by microplasma reduction of aqueous cations / C. Richmonds, R. Mohan Sankaran // Appl. Phys. Lett. – 2008. – Vol. 93, Issue 13. – P. 385–388.
7. Контактная неравновесная плазма как инструмент для обработки воды и водных растворов. Теория и практика / А. А. Пивоваров, А. В. Кравченко, А. П. Тищенко та ін. // Рос. хим. журн. – 2013. – Т. LVII, № 3–4. – С. 134–145.
8. Низкотемпературный электролиз: теория и практика / А. В. Кравченко, В. С. Кублановский, А. А. Пивоваров, В. П. Пустовойтенко. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2013. – 229 с.
9. Воробйова М. І. Синтез наночастинок золота з водних розчинів тетрахло-роаурату (III) водня плазмохімічним способом / М. І. Воробйова, О. А. Пивоваров, В. І. Воробйова // Вісник східно-українського національного університету ім. В. Даля. – 2014. – № 14 (202). – С. 39–44.
10. Formation of Silver Nanoparticles and Self-Assembled Two-Dimensional Ordered Superlattice / S. He [et al.] // Langmuir. – 2001. – Vol. 17. – P. 1571–1575.

УДК 535.343.2

П.К. Горбенко, канд. физ.-мат. наук**А.А. Ковтун**, канд. физ.-мат. наук**А.В. Рогоза**, канд. физ.-мат. наук**Ю.Е. Шоломий**, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ KCl
ЧИСТЫХ И С ПРИМЕСЬЮ ИОНОВ Li^+ И Na^+** **П.К. Горбенко**, канд. физ.-мат. наук**А.О. Ковтун**, канд. физ.-мат. наук**О.В. Рогоза**, канд. физ.-мат. наук**Ю.Є. Шоломій**, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ У КРИСТАЛАХ KCl ЧИСТИХ ТА
З ДОМІШКОЮ ІОНІВ Li^+ ТА Na^+** **Petr Gorbenko**, PhD in Physico-mathematical Sciences**Anatoliy Kovtun**, PhD in Physico-mathematical Sciences**Aleksandr Rogoza**, PhD in Physico-mathematical Sciences**Yuriy Sholomiy**, student

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

**THE RESEARCH INTO RADIATIONAL DEFECTS IN HIGH PURITY KCl
CRYSTALS AND KCl CRYSTALS WITH Li^+ AND Na^+ ADMIXTURE**

Приведены экспериментальные данные о дырочных центрах кристаллов KCl высокой чистоты, а также о дырочных центрах, связанных с примесью ионов Li^+ и Na^+ . Показано, что свободные галоидные вакансии диффундируют в кристалле уже при низких температурах.

Ключевые слова: ионы Li^+ , ионы Na^+ , дырочные центры, галоидные вакансии.

Наведені експериментальні дані про діркові центри кристалів KCl високої чистоти, а також про діркові центри, що пов'язані з домішкою іонів Li^+ та Na^+ . Показано, що вільні галоїдні вакансії дифундують у кристалі вже при низьких температурах.

Ключові слова: іони Li^+ , іони Na^+ , діркові центри, галоїдні вакансії.

Experimental data of research into hole centers of crystals of high purity and crystals with Li^+ and Na^+ admixture are represented. Also it is shown that free halide vacancies diffuse at low temperature.

Key words: Li^+ ion, Na^+ ion, hole center, halide vacancies.

Вступление. Данная работа является продолжением комплексных исследований [1; 2] структуры и свойств радиационных дефектов в щелочно-галоидных кристаллах (ЩГК).

Кенциг считал, что известная V_1 – полоса оптического поглощения (365 нм), появляющаяся при температуре 77 К в кристаллах KCl, соответствует V_k – центрам [3]. Несколько позже [4; 5] установлено, что V_1 – полоса соответствует оптическому поглощению $H_A(Na^+)$ центров. Поэтому одной из задач этой работы есть установление соответствия оптического спектра и спектра электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) V_k – центра в кристаллах KCl высокой чистоты.

Авторы работы [6] предположили, что ионная проводимость в ЩГК при высоких температурах обусловлена свободными галоидными вакансиями. Несколько позже Лидьярд показал [7], что энергия образования дефектов по Френкелю совпадает с энергией активации ионной проводимости, что опровергает ранее упомянутое предположение. Таким образом, возникает необходимость установить интервал температур, при которых происходит диффузия галоидных вакансий, и определить энергию диффузии, поскольку это важно для объяснения многих ионных процессов, связанных с накоплением и превращением радиационных дефектов в ЩГК.

Методы и результаты. Нами использовался метод ЭПР для контроля дырочных центров, которые, диффундируя и аннигилируя с F – центрами, образуют свободные

вакансии. Изменение концентрации электронных центров определялось оптическим методом.

Приготовление образцов и методы эксперимента описаны в работах [1; 2]. Кристаллы для оптических исследований окрашивались при 77 К рентгеновскими лучами, а для измерения спектров ЭПР – облучением от источника с дозами $(1,5-2) \cdot 10^7$ рад. Измерение спектров ЭПР проводили при 77 К на супергетеродинном спектрометре с низкочастотной модуляцией [8]. Ориентация образцов производилась по естественным плоскостям при закреплении их в кристаллодержателе с угломерным устройством. Более точная ориентация кристаллов производилась по спектрам ЭПР. Для исследования термической стабильности парамагнитных центров использовалось нагревательное устройство, смонтированное в криостате. Нагрев образцов осуществлялся импульсным методом в интервале 77÷300 К.

1. Оптический спектр и спектр ЭПР V_k – центров в кристаллах KCl высокой чистоты.

Наряду с ЭПР-спектром F – центров в случае кристаллов KCl , облученных при 77 К, наблюдался другой сложный ЭПР-спектр, приведенный на рис. 1. При этом условия для регистрации этого спектра подбирались так, чтобы избавиться от спектра ЭПР F – центров. Константы приведенного спектра полностью совпадают с константами спектра V_k – центров в кристаллах KCl [3]. При оптических исследованиях (рис. 2) в спектрах данных кристаллов не была обнаружена полоса поглощения в области частот, предсказанных теорией для V_k – центра [9]. По-видимому, сила осциллятора V_k – центра очень мала по сравнению с силой осциллятора F – центра, так как, согласно закону электронейтральности, концентрация V_k – центров одного порядка с концентрацией F – центров ($N_F \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$).

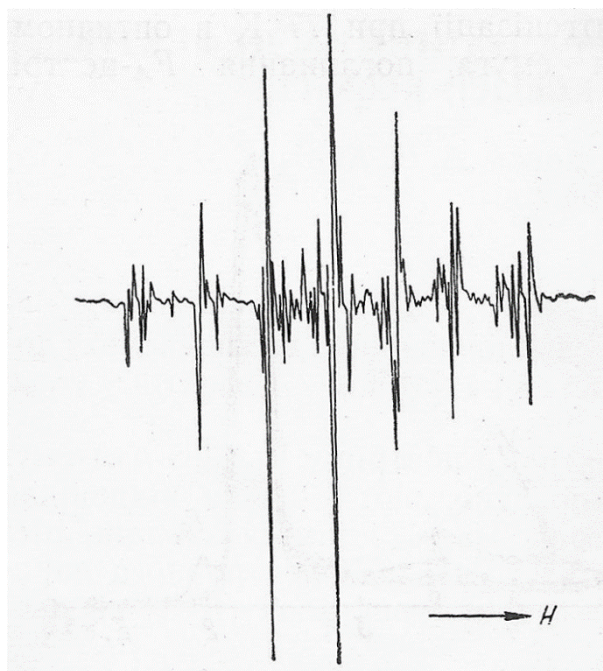


Рис. 1. Спектр ЭПР V_k – центров γ – облученных кристаллов KCl . Магнитное статическое поле ориентировано вдоль направления $\langle 110 \rangle$ кристалла

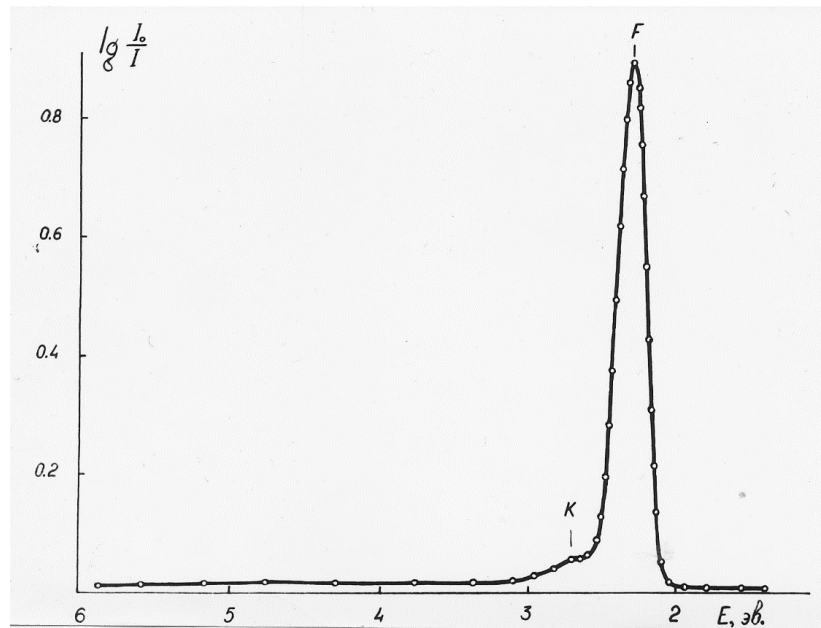


Рис. 2. Спектр статического поглощения кристаллов KCl при 77 К после четырёхчасового облучения рентгеновскими лучами при 77 К

2. О диффузии термодинамически неравновесных галоидных вакансий.

В опытах использовались чистые кристаллы KCl и с примесью ионов Li^+ и Na^+ . С помощью метода ЭПР обнаружено, что при импульсном нагреве кристаллов KCl V_k – центры исчезают в интервале температур 110÷170 К и возникают свободные галоидные вакансии, которые можно обнаружить по характеру накопления F -центров [1]. Действительно, наблюдается двухстадийный характер накопления F -центров в кристалле, нагретом сначала до температуры ~170 К и охлажденном затем до 77 К (рис. 3, б). Наличие нелинейной стадии накопления свидетельствует о наличии в кристалле свободных галоидных вакансий, появляющихся вследствие диффузии и аннигиляции V_k – центров с F – центрами. При прогреве кристалла до 290 К и дальнейшем облучении его рентгенолучами при 77 К характер накопления F – центров линейный (рис. 3, в), т. е. аналогичный характеру накопления F – центров при первичном облучении (рис. 3, а). Таким образом, опыт показал, что при нагревании кристаллов, содержащих свободные галоидные вакансии, от 223 до 290 К последние исчезают в результате либо их диффузии к дефектам, либо диффузии дефектов к свободным галоидным вакансиям с последующей их аннигиляцией.

В работе [10] показано, что ионы Li^+ захватывают галоидные вакансии, что приводит к образованию F_A – центров в процессе облучения рентгенлучами кристалла при 77 К. Поэтому нами использовались кристаллы KCl с примесью ионов Li^+ и с примесью ионов Na^+ . На кристаллах $KCl:LiCl$, облученных при 77 К, наблюдается спектр ЭПР V_k – центров, которые при нагреве кристалла до ~170 К превращаются в V_{KA} – центры, исчезающие при температуре 170÷230 К, что согласуется с данными работы [11]. При дальнейшем нагреве кристалла $KCl:LiCl$, содержащего свободные галоидные вакансии, до температуры 263 К и последующей рентгенизации при 77 К в оптическом спектре поглощения наблюдается полоса поглощения F_A – центров (рис. 4, в). Следовательно, в результате нагрева кристаллов KCl и $KCl:LiCl$, содержащих свободные галоидные вакансии, от 223 до 263 К происходит их диффузия. Температурная стабильность V_{KA} – центров в кристаллах $KCl:NaCl$ практически не отличается от температурной стабильности V_k – центров в чистых кристаллах KCl .

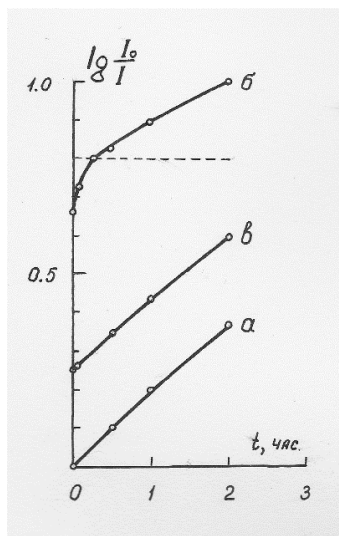


Рис. 3. Накопление во времени F — центров в чистых кристаллах KCl при 77 K:
 а — накопление при первичном облучении рентгенолучами; б — после нагревания до 223 K;
 в — после нагревания до 293 K. Пунктирной линией показана оптическая плотность F — центров после
 четырехчасового накопления

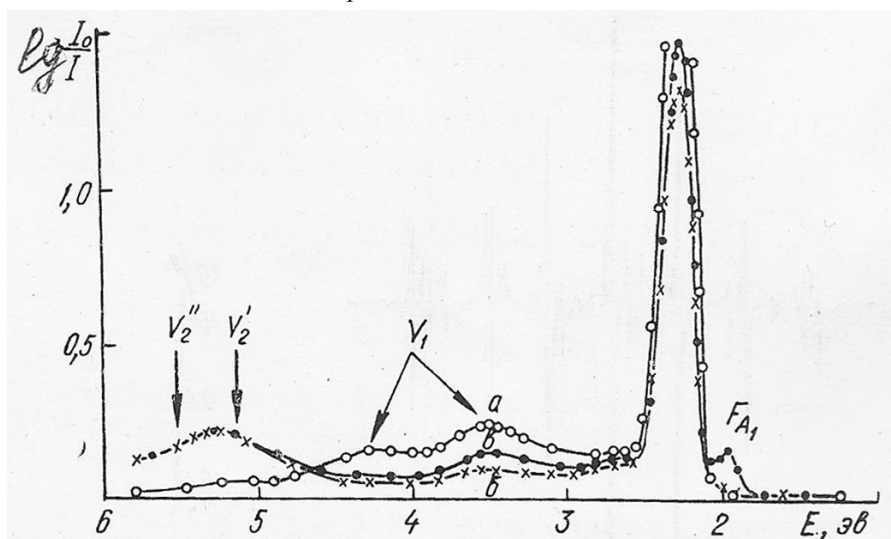


Рис. 4. Спектры оптического поглощения кристаллов $KCl + 1$ мол. % в шихте при 77 K:
 а — после рентгенизации в течение 1 часа при 213 K; б — после нагревания до 263 K и охлаждения
 до 77 K; в — после повторной рентгенизации в течение 15 минут при 77 K

Энергия диффузии вакансий определялась методом люминесценции. Пик термолюминесценции, связанный с диффузией вакансий в кристаллах KCl , соответствует температуре 305 K. Вычисленная энергия составляет $(0,385 \pm 0,036)$ эВ.

Выводы. Из приведенных результатов следует, что свободные галоидные вакансии диффундируют уже при низких температурах, чего не предполагалось ранее [6].

Список использованных источников

1. Горбенко П. К. Структура и превращение дырочных центров в кристаллах KCl и $KCl+NaCl$ / П. К. Горбенко, Н. П. Калабухов, А. А. Ковтун // УФЖ. — 1972. — Том 17, № 11. — С. 1866–1872.
2. О дефектах, генерируемых рентгеновским излучением в кристалле KCl / П. К. Горбенко, Н. М. Ежов, А. А. Ковтун, А. Н. Телятник // УФЖ. — 1973. — Том 18, № 7. — С. 1068–1074.
3. Känzig, W. Phys. Rev., 99, 1890, 1955.
4. Delbecq C., Hutchinson E., Scheemaker D., Yasaitis E.L., Yuster P.H., Phys Rev., 187, 1103, 1969.

5. Горбенко П. К. Структура и превращение дырочных центров в кристаллах KCl:NaCl / П. К. Горбенко, А. А. Ковтун // ФТТ. – 1972. – Том 14, № 4. – С. 1225–1227.
6. Мотт Н. Электронные процессы в ионных кристаллах / Н. Мотт, Р. Генри. – М., 1950.
7. Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов / А. Лидьярд. – М., 1962.
8. Рубан М. А. Авторское свидетельство № 219862 / М. А. Рубан // Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий. – 1968. – № 19, 96.
9. Guckers E.F., Halvetica Phys. Acta, 41, 493, 1968.
10. Горбенко П. К. Превращение электронных центров в кристаллах KCl+LiCl / П. К. Горбенко, Н. П. Калабухов, А. А. Ковтун // УФЖ. – 1973. – Том 18, № 7. – С. 1107–1111.
11. Schoemaker, D. Phys. Rev. B, Solid State, 7, 786, 1972.

УДК 621.9.048.4

А.М. Єрошенко, канд. техн. наук

Є.М. Кремчанін, магістрант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРОГРАМУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ В СЕРЕДОВИЩІ DELCAM

А.М. Єрошенко, канд. техн. наук

Е.Н. Кремчанин, магистрант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ В СРЕДЕ DELCAM

Andrii Yeroshenko, PhD in Technical Sciences

Yevhen Kremchanin, Master's Degree student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

PROGRAMMING ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING IN THE ENVIRONMENT DELCAM

Розглянуто програмування електроерозійної обробки в середовищі програмних продуктів компанії DELCAM. Показано на конкретному прикладі, що для виробництва прес-форм для виготовлення пластмасових виробів використовується як остаточна – електроерозійна обробка. Створено 3-D модель пластмасового виробу, прес-форми, електрода.

Ключові слова: прес-форма, електроерозійна обробка, електрод.

Рассмотрено программирование электроэрозионной обработки в среде программных продуктов компании DELCAM. Показано на конкретном примере, что для изготовления пресс-форм для изготовления пластмассовых изделий используется как окончательная – электроэрозионная обработка. Создана 3-D модель пластмассового изделия, пресс-формы, электрода.

Ключевые слова: пресс-форма, электроэрозионная обработка, электрод.

Article dedicate programming EDM machining of medium software companies DELCAM. Shown by way of example, that for manufacturing molds for manufacturing plastic products used as final - electro-discharge machining. Creates a 3-D model of plastic products, mold, electrode.

Key words: mold, electro-discharge machining, electrode.

Постановка проблеми. Здавалося б, що з розвитком фрезерування на верстатах з ЧПК проблему з формою, розмірами та якістю оброблюваних поверхонь вирішено, але все рівно знайдуться якісь поверхні, які важко отримати за допомогою фрезерування. Особливо це стосується поверхонь, які мають внутрішні радіуси округлень на багато менші, ніж радіус фрези. А також це стосується остаточної якості обробленої поверхні. Тому для отримання остаточної якості поверхні використовується електроерозійна обробка на верстатах з ЧПК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Електроерозійна обробка (англ. EDM — Electric discharge machining) є різновидом електрофізичної обробки і характеризується тим, що зміна форми, розмірів та якості поверхні заготовки з електропровідного матеріалу відбувається під дією електричних (іскрового чи дугового) розрядів.

Вона ґрунтується на використанні контрольованого руйнування електропровідного матеріалу під дією електричних розрядів між двома електродами, тобто це вид механообробки з використанням електричної ерозії [1].

При електроерозійній обробці між електродом-інструментом і заготовкою є зазор, через який проходить електричний розряд, у результаті чого руйнуються як матеріал заготовки, так і матеріал електрода-інструмента. Але більшою мірою проходить руйнування матеріалу заготовки. На поверхні заготовки утворюється лунка за рахунок розплавленого металу, температура в зоні обробки становить до 10000°C . Імпульсні розряди, які виникають між катодом і анодом, мають енергію від $10^{-4} \div 10^{-6}$ Дж до десятків Дж. Напруга, що виникає між електродом-інструментом і заготовкою, становить від 10–20 В до 300–400 В. Тривалість імпульсу становить від частки мікросекунд до декількох мікросекунд. Частота імпульсів від 50 Гц до сотень кГц.

Електроерозійна обробка поділяється на:

- електроіскрову;
- електроімпульсну.

Відрізняються вони тривалістю імпульсу.

Для електроіскрової обробки тривалість імпульсу $< 10^{-4}$ секунди, а для електроімпульсної $> 10^{-3}$ секунди.

Також електроіскрова обробка відрізняється від електроімпульсної скважністю, для електроіскрової – $g > 5$, а для електроімпульсної – $g < 5$.

Скважність g – це відношення періоду повторення імпульсу T , до його тривалості τ :

$$g = \frac{T}{\tau}.$$

Основні матеріалами для виготовлення електрода-інструмента [2]:

- мідь чиста М1, М2;
- латунь Л62;
- вольфрам;
- алюміній;
- графіт;
- композити.

Основними рідинами, які використовуються при електроерозійній обробці, є [3]:

- суміш масла (індустріальне 20) і гасу в пропорції 1:1 або 1:2;
- дистильована вода (при обробці на верстатах з ЧПК).

Переваги електроерозійної обробки над механічною:

– скорочення кількості операцій обробки, оскільки точність і якість оброблених поверхонь відповідають відповідному шліфуванню;

- до деталі не треба докладати великих зусиль під час оброблення;
- усунення деяких обмежень під час оброблення (наприклад, за твердістю заготовки);
- можливість отримання складних за конструкцією деталей.

Недоліки електроерозійної обробки:

- високе енергоспоживання;
- швидке зношування електрода-інструмента;
- неможливість обробки діелектричних матеріалів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У недалекому минулому для створення 3-D моделі електрода потрібно було імпортувати модель виробу в іншу програму, в результаті чого геометрія могла спотворюватися, тому нині більш

зручним є проектування виробу, прес-форми й електрода в одній програмі, що виключає спотворення геометрії.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є проектування електрода-інструмента для обробки матриці (рис. 1) і пуансона прес-форми для виготовлення пластмасового кутника (рис. 2).

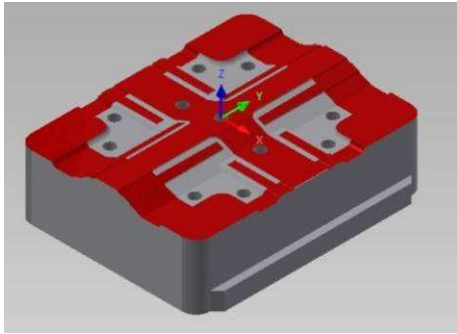


Рис. 1. Зображення 3-D моделі матриці

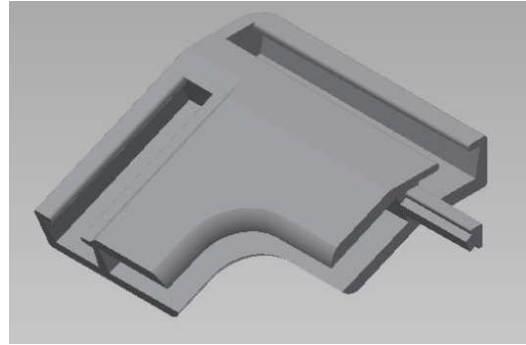


Рис. 2. Зображення 3-D моделі кутника

Виклад основного матеріалу. Цей пластмасовий кутник використовується для з'єднання рами гнучого скла холодильника для морозива (рис. 3).

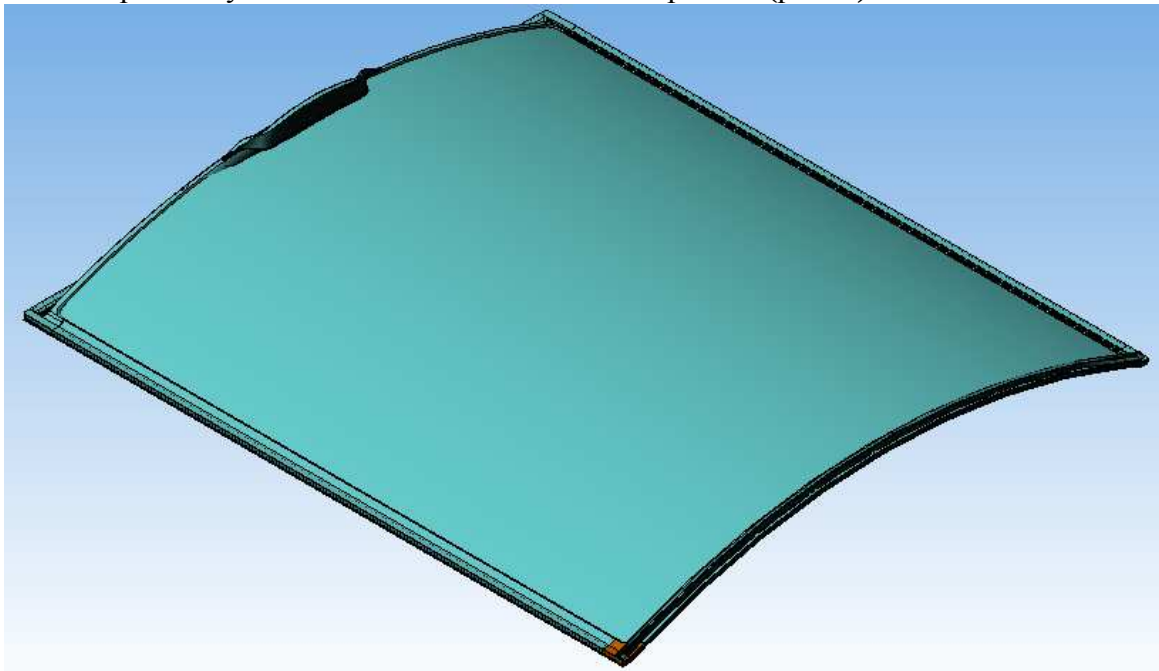


Рис. 3. Зображення кутника у складі рами зі склом

Створення 3-D моделі кутника, деталей прес-форми й електрода-інструмента виконується в CAD-системі Delcam Powershape, який є високопродуктивним і простим у використанні інструментом моделювання поверхонь складної форми.

Для того, щоб спроектувати електрод-інструмент у програмі Powershape, спочатку потрібно створити 3-D модель пластмасового кутника. Після цього за допомогою програмного продукту Autodesk Simulation Moldflow Adviser виконується аналіз пластмасового виробу: обираються найкращі ділянки для вприскування пластичного матеріалу (рис. 4); встановлюється місце вприскування й аналізується модель на проливання, охолодження, попередню якість, можливі дефекти, а також жолоблення (рис. 5).

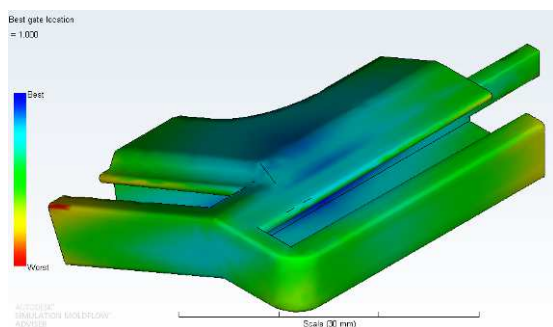


Рис. 4. Зображення найкращих ділянок вприскування

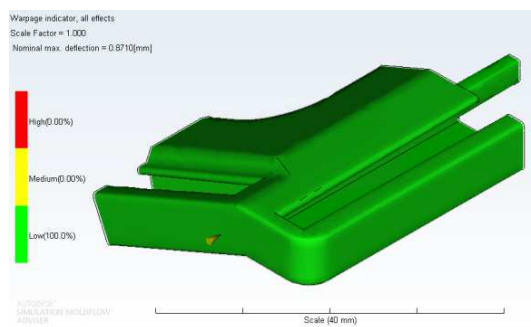


Рис. 5. Зображення можливого жолоблення

Користуючись результатами аналізу, за допомогою програми Powershape проектується прес-форма (рис. 6): матриця, пуансон, знаки, система живлення, охолодження, виймання готового виробу.

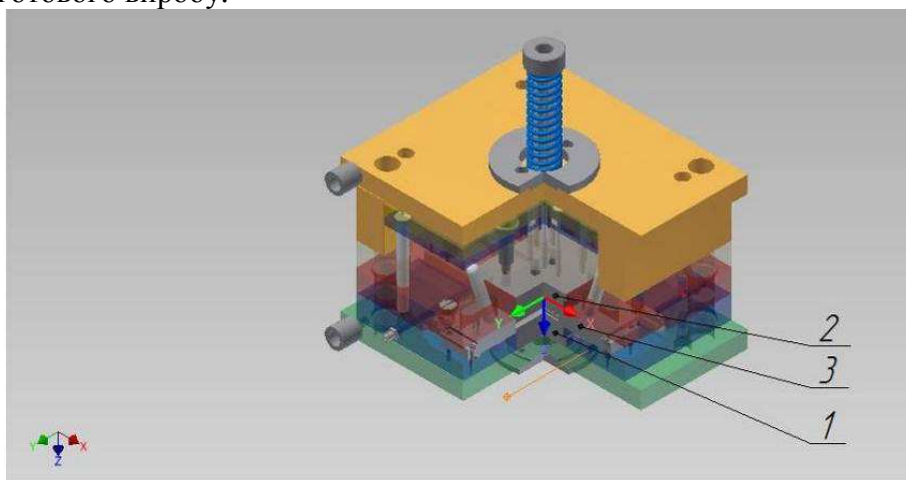


Рис. 6. Зображення прес-форми для виготовлення пластмасового кутника:
1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – знак

Маючи готову прес-форму можна приступати до проектування електрода-інструмента для надання форми і розмірів формотворної поверхні матриці. За допомогою вбудованого модуля Electrode створюється модель електрода (рис. 7).

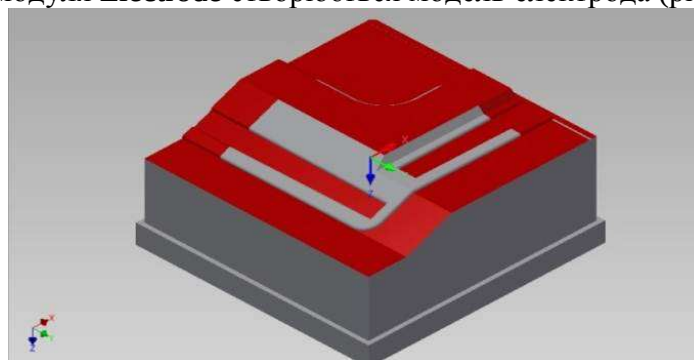


Рис. 7. Зображення 3-D моделі електрода-інструмента

Оскільки обробка проводиться на верстаті з ЧПК, то як робоча рідина застосовується дистильована вода. Для виготовлення такого електрода-інструмента використовується чиста мідь М1.

Після проектування інструмента проводиться моделювання механічної обробки (рис. 8) самого інструмента. За допомогою програмного продукту PowerMILL розробляється маршрут механічної обробки, здійснюється підбір інструменту, режимів різання.

Виготовлення електрода відбувається на фрезерному центрі моделі Twinhorn VH-850L3 з ЧПК Mitsubishi (рис. 9).

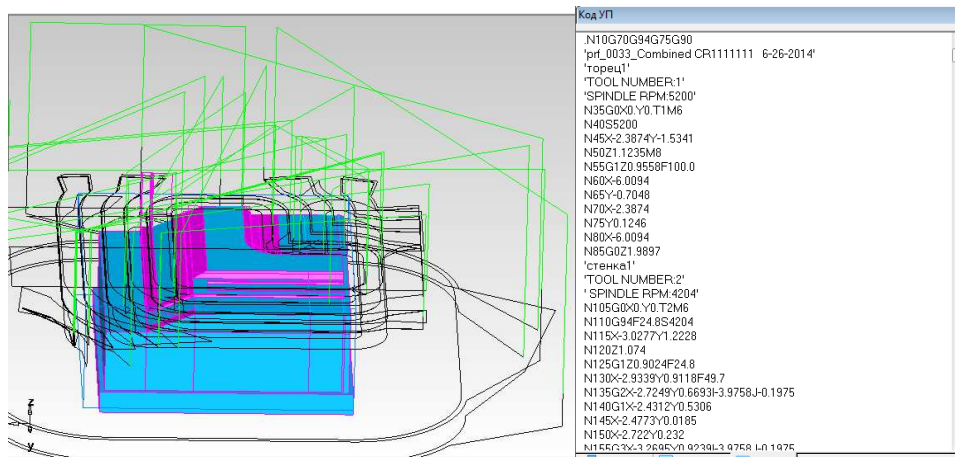


Рис. 8. Зображення траєкторій руху інструменту при обробці електрода-інструмента і тексту програми



Рис. 9. Зображення верстата і обробки електрода-інструмента

Виготовивши електрод, можна приступати до механічної обробки матриці. Спочатку, по можливості, на фрезерному верстаті з ЧПК знімається основний шар матеріалу. Далі остаточна форма і розміри надаються за допомогою електроерозійної обробки.

Висновки і пропозиції. Аналіз джерел дає можливість зробити такі висновки:

1. Електроерозійна обробка є найбільш доречною при виготовленні пуансона і матриці заданої прес-форми, оскільки такий спосіб обробки дозволить остаточно отримати задану форму, розміри та якість поверхні.
2. Для розробки 3-D моделей пластмасового виробу, прес-форми й електрода найбільш доцільно використовувати програмний продукт Delcam Powershape, до складу якого входять вбудовані модулі для проектування прес-форм і електродів.
3. Для підвищення продуктивності та зниження собівартості при виготовленні пуансона і матриці чорнову обробку доцільно проводити фрезеруванням на верстаті з ЧПК, а остаточну чистову – електроерозійною обробкою.
4. Найбільш раціонально створювати електрод-інструмент у середовищі Delcam Powershape, оскільки форма і розміри виробу, прес-форми й електрода взаємопов'язані.

Список використаних джерел

1. Лазаренко Б. Р. Электрическая эрозия металлов / Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко. – М., Л. : Государственное издательство, 1944. – 28 с.
2. Электроэрозионная и электрохимическая обработка. Расчет, проектирование, изготовление электродов-инструментов. Ч. 1. Электроэрозионная обработка / под ред. А. Л. Лившица и А. Роша. – М. : НИИмаш, 1980. – 224 с.
3. Абляз Т. Р. Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов : учеб. пособие / Т. Р. Абляз, А. М. Ханов, О. Г. Хурматуллин. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 121 с.

УДК 665.334.9:66.095.54:66.097.8:665.7.038.5

В.І. Воробйова, аспірант**О.Е. Чигиринець**, д-р техн. наук**Ю.Ф. Фатєєв**, канд. хім. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

**СИНЕРГЕТИЧНИЙ ВПЛИВ НІТРОГЕНОВМІСНИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК
НА ПРОТИКОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕКСТРАКТУ ШРОТУ РІПАКУ****В.И. Воробьева**, аспирант**Е.Э. Чигиринец**, д-р техн. наук**Ю.Ф. Фатеев**, канд. хим. наук

НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина

**СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ НИТРОГЕНОСОДЕРЖАЩИХ
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ
СВОЙСТВА ЭКСТРАКТА ШРОТА РАПСА****Viktoriia Vorobiova**, PhD student**Olena Chyhyrynets**, Doctor of Technical Sciences**Yurii Fatieiev**, PhD in Chemical Sciences

NTUU «KPI», Kyiv, Ukraine

**SYNERGISTIC INFLUENCE OF NITROGEN ORGANIC COMPOUNDS ON THE
INHIBITOR EFFECTIVENESS OF THE RAPE-CAKE EXTRACT**

На основі даних газової хромато-мас-спектрометрії визначено компонентний склад летких сполук комбінаційного парофазного інгібітору корозії на основі екстракту шроту ріпаку та нітрогеновмісних сполук. Прискореними гравіметричними методами корозійних випробувань (протягом 21 доби) та методом поляризаційного опору в умовах періодичної конденсації вологи показано, що при додатковому введенні до ізопропанольного екстракту шроту ріпаку N-вмісних сполук спостерігається синергетичне збільшення інгібуючої ефективності комбінаційних інгібіторів. Встановлено, що досліджені суміші є інгібіторами змішаного типу, які гальмують анодну та катодну реакції корозійного процесу. Комбінаційний інгібітор проявляє ефект захисної післядії. Отримані результати поглиблюють наукові засади підбору синергетичних компонентів до рослинних екстрактів.

Ключові слова: леткий інгібітор, атмосферна корозія, сталь, екстракт шроту ріпаку, синергізм.

На основе данных газовой хромато-масс-спектрометрии исследован компонентный состав летучих соединений композиционного парофазного ингибитора коррозии на основе экстракта шрота рапса и нитрогеносодержащих соединений. Ускоренными гравиметрическими методами коррозионных испытаний (в течении 21 суток) и методом поляризационного сопротивления в условиях периодической конденсации влаги установлено синергетическое повышение ингибирующей эффективности растительного экстракта при введении N-содержащих соединений. Установлено, что исследуемые смеси являются ингибиторами смешанного типа, которые тормозят анодную и катодную реакцию коррозионного процесса. Исследуемый ингибитор проявляет эффект защитного последодействия. Полученные результаты углубляют научные основы подбора синергетических компонентов к растительным экстрактам.

Ключевые слова: летучий ингибитор, атмосферная коррозия, сталь, экстракт шрота рапса, синергизм.

The results of obtained information will help to deepen scientific principles for the development of volatile corrosion inhibitors. The volatiles of inhibitor mixtures based on ethanol extract of cake oil rape were analyzed by GC-MS. In total, 20 volatiles were identified with glycosides, ketone, alkaloid, aldehyde being the major components. The content additionally introduced N-containing compounds are 9 %. Their inhibition action was evaluated on corrosion of mild steel under a thin-film electrolyte consisting of simulated water using the weight loss and electrochemical polarization resistance method installed a synergistic increase in the inhibitory activity of a plant extract when administered N-containing compounds. The obtained results improve the scientific basis for selection the synergistic components in plant extracts.

Key words: volatile corrosion inhibitor, atmospheric corrosion, steel, rape cake extract, synergism.

Вступ. Сьогодні особливе місце серед інгібіторів атмосферної корозії займають леткі інгібітори. Дослідження захисних властивостей сумішей інгібіторів представляє велику зацікавленість, особливо при атмосферній корозії різномірних металів та сплавів. Саме комбінаційні інгібітори більш ефективно захищають метал від корозії, ніж індивідуальні органічні сполуки. Незважаючи на великий перелік летких інгібіторів, проблема їх розроблення залишається актуальною у зв'язку зі зростаючими вимогами до захисної здатності реагентів та підвищенням екологічних вимог. У зв'язку з цим актуальним є вивчення летких інгібіторів корозії на основі органічних сполук рослинної сировини або відходів її переробки [2]. Авторами встановлено, що леткі сполуки рослинних екстрактів,

а саме шроту ріпаку, забезпечують достатній, але не максимальний ступінь протикорозійного захисту ($\approx 90\%$) [2;4]. Аналіз компонентного складу рослинних екстрактів [4] та літературних даних дозволяє припустити можливість підвищення ефективності рослинних екстрактів при їх спільному використанні з відомими синергістами. Для підвищення протикорозійної ефективності екстракту шроту ріпаку розроблено комбінаційний склад ЛІАК ЛВГ-2 на його основі з додатковим вмістом N-вмісних органічних сполук (аміну та азолу). Метою роботи було вивчення інгібуючої ефективності та механізму дії комбінаційного парофазного інгібітору на основі органічних сполук рослинної сировини та нітрогеновмісних сполук.

Методика експерименту. Для екстрагування хімічно активних речовин з рослинної сировини використали ізопропіловий спирт. Комбінаційний інгібітор отримували через введення сполуки класу азолу та сполуки класу амінів до ізопропанольного екстракту шроту ріпаку. Компонентний склад летких речовин комбінаційного складу інгібітору вивчали методом хромато-мас-спектрометрії (ГХ-МС) на газовому хроматографі "FINIGAN FOCUS" з мас-селективним детектором фірми Termo Electronics. Поляризаційні електрохімічні дослідження проводили на установці, що включає потенціостат ПИ-50-1 та програматор ПР-8 у потенціостатичному режимі. Значення потенціалу задавали від стаціонарного потенціалу із заданим кроком в анодну і катодну області. Потенціали вимірювали відносно насиченого сульфатно-закисного електрода порівняння, переводячи потім дані у нормальну водневу шкалу. Дослідження проводили в електрохімічній комірці з об'ємом робочого розчину 60 мл, що складалась з робочого електрода зі сталі СтЗ циліндричної форми з площею $0,385\text{ см}^2$, запресованого у тефлон, електрода порівняння – сульфатно-закисного, а також допоміжного електрода – платинового. Особливістю цієї роботи було те, що за рекомендаціями Ю.Ф. Фатєєва електрохімічні вимірювання проводили при його розміщенні у поверхневому шарі робочого розчину перпендикулярно до дзеркала поверхні при зануренні приблизно на 1–2 мм (ГОСТ 9.509-89), що дозволяє більш точно змодельовати умови атмосферної корозії металу, що протікає у тонких шарах електроліту.

Результати досліджень та їх обговорення. Згідно з отриманими даними хромато-мас-спектрального аналізу в складі комбінаційного леткого інгібітору виявлено 22 індивідуальних компонента, присутніх у кількості більше 0,2 %, серед яких домінують глікозиди (21 % від усіх ідентифікованих летких сполук): сахароза, гуанозин, ксантозин; бузковий альдегід (17 %), кетон-3,5-диметоксиацетофенон (17 %), стероїди, а також насичені і ненасичені жирні кислоти (21 %), представлені пальмітиновою, олеїновою, лінолевою й оцтовою кислотами. У мінімальній кількості (3 %) містяться алкалоїди та близько 14 % деяких терпенів та терпеноїдів. Встановлено, що перехід у газопарову фазу додатково введених N-вмісних сполук відбувається першочергово поряд з більш легколеткими сполуками рослинного екстракту.

Аналіз результатів прискорених корозійних випробувань в умовах періодичної конденсації вологи свідчить, що розроблена суміш інгібітору ЛВГ-2 значно перевершує за ефективністю індивідуальний екстракт рослинної сировини та N-вмісні сполуки, ступінь захисту збільшується від 90,0 % до 99,5% в умовах періодичної конденсації вологи протягом 21 доби. Коефіцієнти гальмування у разі застосування екстракту шроту ріпаку та комбінаційного інгібітору на його основі становлять 10,04 та 102,5 відповідно. Слід зауважити, що обробка зразків у паровій фазі індивідуального ізопропанолу не підвищує корозійну тривкість металу. Прискореними гравіметричними випробуваннями встановлено, що індивідуальні нітрогеновмісні сполуки мають відносно невисокі захисні властивості, коефіцієнти гальмування швидкості корозії становлять для азолу – 1,10, для аміну – 2,67. Порівняння коефіцієнтів гальмування швидкості корозії трьох-компонентної суміші з попередньо визначеними значеннями коефіцієнтів гальмування для індивідуальних сполук свідчить про ефект синергізму [3], за якого коефіцієнти си-

нергізму (K_s) для інгібіторів ЛВГ-2 становлять 3,47. Методом поляризаційного опору, розробленого і модифікованого на кафедрі ТЕХВ НТУУ «КПІ» для випадку корозії в умовах конденсації вологи, підтверджено, що комбінаційні ЛІАК забезпечують більш високий протикорозійний захист сталі, ніж застосування індивідуально рослинного екстракту (табл. 1).

Таблиця 1

Результати корозійних випробувань на датчиках після експозиції в атмосфері ЛІАК протягом 24 годин та наступної конденсації вологи

Леткий інгібітор атмосферної корозії	Середнє стале значення після 150 хвилин досліджень, R_p , кОм	Коефіцієнт гальмування, γ
Екстракт шроту ріпаку	26,7	11,6
ЛВГ-2	65,7	33,6
Амін	5,1	2,3
Азол	4,0	1,7
Амін+Азол	9,0	3,9

Так, миттєві значення R_p після попередньої обробки леткими сполуками екстракту шроту ріпаку та ЛВГ-2 і наступної примусової конденсації вологи впродовж 150 хвилин досліджень становить 62,7 та 65,7 кОм. Встановлено, що найнижчу тривкість мали плівки, отримані після обробки сталі індивідуально аміном, азолом та сумішшю цих сполук. Для більш повного дослідження механізму дії комбінаційного складу та встановлення причини підвищення інгібіторного захисту при введенні N-вмісних сполук доцільним було дослідити вплив сформованих плівок на поверхні сталі із газопарової фази індивідуальних N-вмісних органічних сполук, шроту ріпаку, комбінаційного ЛІАК ЛВГ-2 та двокомпонентних сумішей на анодний і катодний корозійні процеси.

Аналіз поляризаційних кривих (рис. 1) показав, що досліджувані екстракти шроту ріпаку та комбінаційний інгібітор ЛВГ-2 на його основі є леткими інгібіторами корозії змішаного типу, які гальмують як катодну, так і анодну реакції корозійного процесу. Так, величина анодної поляризації сталі після обробки леткими сполуками екстракту шроту ріпаку при $i = 0,18 \cdot 10^{-4}$ А/см² становить 0,07 В, величина катодної поляризації сягає -0,13 В. У той час як значення анодної і катодної поляризації сталі після обробки комбінаційним ЛІАК більші та становлять 0,06 В та -0,15 В відповідно. Отже, застосування комбінаційного інгібітору більшою мірою гальмує катодну реакцію корозійного процесу. Сформована плівка із парової фази аміну (рис. 2) гальмує переважно анодний процес, не впливаючи на принциповий характер анодної кривої, а також дуже слабо гальмує катодну реакцію корозійного процесу.

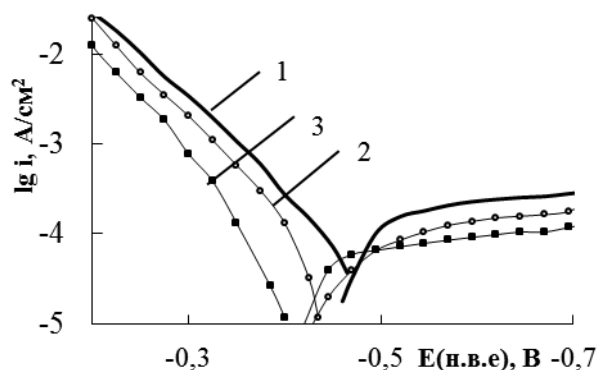


Рис. 1. Поляризаційні анодна та катодна криві на сталі Ст3 у розчині 0,5 М Na₂SO₄ без (1) і з плівкою, отриманою після 48 годин формування в паровій фазі екстракту шроту ріпаку (2) та інгібітору ЛВГ-2 (3)

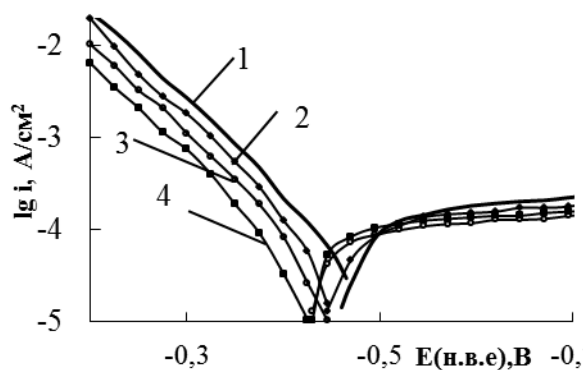


Рис. 2. Поляризаційні анодна та катодна криві на сталі Ст3 у розчині 0,5 М Na₂SO₄ без (1) і з плівкою, отриманою після 48 годин формування в паровій фазі азолу (2), аміну (4), суміші аміну та азолу (3)

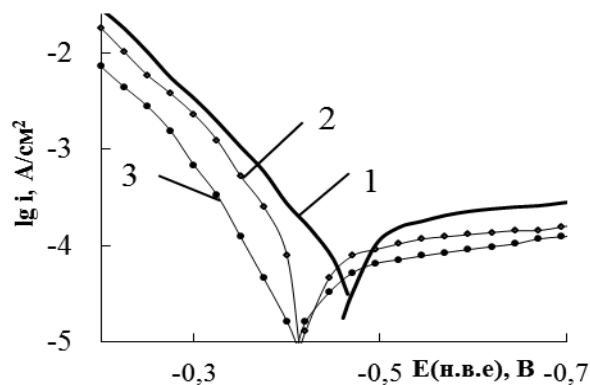


Рис. 3. Поляризаційні анодна та катодна криві на сталі Ст3 у розчині 0,5 М Na_2SO_4 без (1) і з плівкою, отриманою після 48 годин формування в паровій фазі двокомпонентних сумішей: екстракт шроту ріпаку + азол (2), екстракт шроту ріпаку + амін (3)

Корозійний потенціал металу зміщується в бік більш позитивних значень. Величина анодної поляризації сталі після обробки металу аміном при $i = 0,20 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ становить 0,05 В. На катодній поляризаційній кривій спостерігається зниження густини струму в 1,3 (при $E = -0,670 \text{ В}$), а на анодній в 2,32 раза (при $E = -0,3 \text{ В}$). Адсорбційна плівка на поверхні електрода, яка отримана впродовж 48 годин формування в паровій фазі азолу, слабо гальмує як процес анодного розчинення сталі, так і несуттєво впливає на катодну реакцію корозійного процесу, що загалом приводить до доволі слабого зниження швидкості корозії (рис. 2). При цьому на катодній поляризаційній кривій спостерігається зниження густини струму в 1,3 раза (при $E = -0,670 \text{ В}$), а на анодній – в 1,4 раза (при $E = -0,3 \text{ В}$). Суміш аміну та азолу (рис. 2) виявилась більш ефективною для часткової катодної реакції корозійного процесу, ніж їх індивідуальне застосування. На катодній поляризаційній кривій спостерігається зниження густини струму в 1,8 раза (при $E = -0,670 \text{ В}$). Однак слід зазначити, що за відсутності інгібітору (аміну) в паровій фазі частина інгібітору, ймовірно, десорбується з поверхні металу. Зроблене припущення також підтверджується слабким ефектом захисної післядії сформованої плівки, що свідчить про часткову зворотність адсорбції. Отримані результати узгоджуються з літературними даними [3], що нижчі аміни схильні до десорбції, а для ефективного захисту металу в паровій фазі повинні бути постійно присутніми в корозійному середовищі, що обмежує можливість використання індивідуально аміну як легкої інгібітору атмосферної корозії. При застосуванні азолу не зафіксовано суттєвого ефекту захисної післядії.

За рахунок введення до рослинних екстрактів (які гальмують переважно катодну реакцію) аміну, що гальмує переважно анодний процес, відбувається збільшення гальмування як анодної, так і катодної реакцій корозійного процесу та формування більш щільного шару (рис. 3). Суміш азолу зі шротом ріпаку виявилась ефективнішою для часткової катодної реакції корозійного процесу, ніж індивідуальне застосування рослинного екстракту та добавки азолу, за рахунок часткової полімеризації та формування більш щільної, захисної плівки, яка ефективніше гальмує проникнення кисню до поверхні металу. Такий висновок дозволяють зробити результати ІЧ-спектроскопічних досліджень, оскільки після обробки металу комбінаційною сумішшю, порівняно із застосуванням індивідуальних рослинних екстрактів, відбувається зменшення інтенсивності смуг поглинання зв'язків $\nu(\text{C}=\text{O})$ в області $1750\text{--}1720 \text{ см}^{-1}$, $1725\text{--}1705 \text{ см}^{-1}$, і збільшення інтенсивності смуг поглинання зв'язків $\nu(\text{C}=\text{C})$ та $\nu(\text{C}\equiv\text{C})$ в області $1680\text{--}1640 \text{ см}^{-1}$ та $2140\text{--}2100 \text{ см}^{-1}$. Це дозволяє зробити припущення про певний внесок у захисну дію ефекту полімеризації плівки на основі органічних сполук рослинних екстрактів та азолу на поверхні сталі. Формування двокомпонентними сумішами інгібіторів більш щільних захисних плівок, інгібуюча дія яких підвищується при збільшенні часу обробки зразків ЛІАК (рис. 4), підтверджується прискореними результатами досліджень.

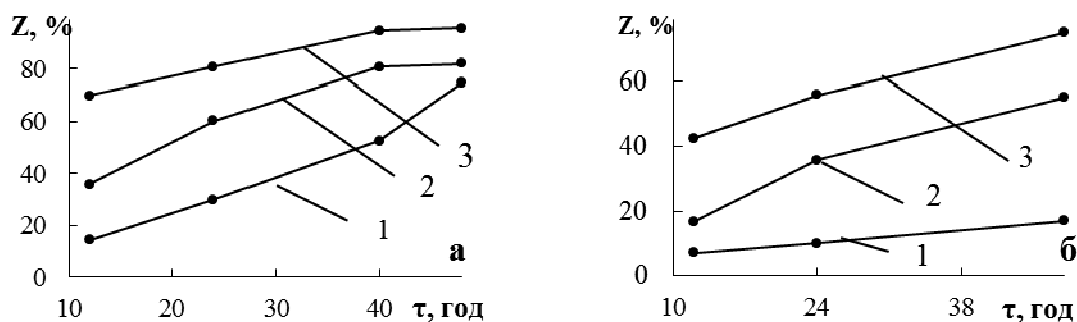


Рис. 4. Зміна ступеня захисту (а) та ефекту захисної післядії (б) від часу формування плівок: 1 – азол+амін; 2 – азол+екстракт шроту ріпаку; 3 – амін+екстракт шроту ріпаку в результаті прискорених корозійних випробувань (40°C, 21 доба, періодична конденсація вологи: дистильована вода (а), 3 % NaCl (б))

Встановлено, що плівка забезпечує ефект післядії в умовах періодичної конденсації вологи над водними розчинами 3 % NaCl та 0,5 М Na₂SO₄ (табл. 2). Встановлено, що плівки, сформовані на поверхні сталі легкими сполуками екстракту шроту ріпаку та комбінаційним складом ЛВГ-2, забезпечують суттєвий ефект захисної післядії.

Таблиця 2

Ефект післядії плівок, сформованих на сталі Ст3 із парової фази ЛІАК (тривалість формування плівки 48 годин, тривалість експерименту – 30 діб)

Обробка легкими інгібіторами	Ступінь захисту, %	
	Умови випробувань (періодична конденсація вологи)	
	3 % NaCl	0,5 М Na ₂ SO ₄
Екстракт шроту ріпаку	64,9	72,3
ЛВГ-2	84,0	91,0

Ефект захисної післядії при використанні суміші аміну + азолу трохи більший, ніж їх індивідуальне застосування, але все одно залишається на низькому рівні порівняно навіть з рослинним екстрактом. Це означає, що витримані в атмосфері інгібіторів зразки сталі деякий час можуть зберігати гальмівний ефект в умовах агресивної атмосфери, яка не містить інгібітору. Наявність такого ефекту є одним з доказів того, що природа інгібуючої дії не пов'язана з електростатичною адсорбцією, а відбувається за рахунок блокування сталевих поверхні хімічно адсорбованими молекулами сполук.

Таким чином, результати електрохімічних, гравіметричних досліджень та отриманих даних газової хромато-мас-спектрометрії комбінаційного складу ЛІАК дозволяють зробити висновок, що при застосуванні ЛІАК на поверхні металу в першу чергу спільно з більш легкими компонентами рослинних екстрактів відбувається сумісна адсорбція аміну та азолу, що підвищує захисні властивості комбінаційного інгібітору та супроводжується синергетичним ефектом. Це відбувається за рахунок збільшення гальмування швидкості анодної реакції корозійного процесу при введенні аміну до рослинних екстрактів та за рахунок модифікації і часткової полімеризації сформованого шару за участі основних складових рослинних екстрактів та N-вмісних сполук (більшою мірою за рахунок азолу) з утворенням більш щільного захисного шару.

Висновки. Встановлено, що додаткове введення аміну та азолу до ізопропанольного екстракту шроту ріпаку збільшує рівень протикорозійного захисту сталі від атмосферної корозії до рівня 99,5 %, що супроводжується синергетичним ефектом.

Синергетичний ефект відбувається за рахунок збільшення гальмування швидкості анодної реакції корозійного процесу при введенні аміну до рослинних екстрактів та за рахунок часткової полімеризації сформованого шару за участі основних складових рослинних екстрактів та N-вмісних сполук (більшою мірою за рахунок азолу). Розробле-

ний комбінаційний інгібітор є інгібітором змішаного типу, що гальмує як анодну, так і катодну реакції корозійного процесу, та забезпечує ефект захисної плівки.

Список використаних джерел

1. Вартапетян Р. Ш. Энергетика адсорбции низших аминов на поверхности окисленного железа / Р. Ш. Вартапетян, А. А. Исирикян, Ю. И. Кузнецов // Защита металлов. – 2002. – Т. 38, № 1. – С. 27–31.
2. Исследование эффективности ингибиторов атмосферной коррозии / Е. Э. Чигиринец, В. И. Воробьева, Г. Ю. Гальченко, И. Г. Рослик // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 76–80.
3. Погребова И. С. Эффекты синергизма при ингибировании коррозии металлов / И. С. Погребова. – К. : Знание, 1980. – 32 с.
4. Чигиринец Е. Э. Хромато-масс-спектральный анализ летучих фракций изопропанольного экстракта рапса / Е. Э. Чигиринец, В. И. Воробьева, Н. В. Шалыга, С. Ю. Липатов // Украинский химический журнал. – 2013. – Т. 79, № 10. – С. 8–14.

УДК 522.648

В.О. Комаха, аспірант

Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна

РЕОЛОГИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДНИХ СУСПЕНЗІЙ КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ МОДИФІКОВАНИХ ПАВ

В.А. Комаха, аспірант

Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПАВ

Volodymyr Komakha, PhD student

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF AQUEOUS SUSPENSION OF CALCIUM CARBONATE OF MODIFIED SURFACTANTS

Досліджено реологічну поведінку водних суспензій карбонатних наповнювачів модифікованих ПАВ. Встановлено, що незалежно від виду карбонату кальцію найменші значення ефективної в'язкості спостерігаються у систем, отриманих з акрилатом натрію. Застосування аніонних і неіоногенних поверхнево-активних речовин при отриманні водних дисперсій карбонатних наповнювачів сприяє значному зниженню їх в'язкості.

Ключові слова: суспензії карбонатів, ПАВ, межа плинності, динамічна в'язкість, пластична в'язкість.

Исследовано реологическое поведение водных суспензий карбонатных наполнителей модифицированных ПАВ. Установлено, что независимо от вида карбоната кальция наименьшие значения эффективной вязкости наблюдаются у систем, полученных с акрилатом натрия. Применение анионных и неионогенных поверхностно-активных веществ при получении водных дисперсий карбонатных наполнителей способствует значительному снижению их вязкости.

Ключевые слова: суспензии карбонатов, ПАВ, предел текучести, динамическая вязкость, пластическая вязкость.

The rheological behavior of aqueous suspensions of surfactant-modified carbonate fillers is investigated. It was found that irrespective of the type of calcium carbonate lowest values of the effective viscosity are observed in systems prepared with sodium acrylate. Use of anionic and nonionic surfactants in obtaining the aqueous dispersions of fillers carbonate greatly reduces their viscosity.

Key words: suspensions of carbonates, surfactants, limit fluidity, dynamic viscosity, plastic viscosity.

Постановка проблеми. Частка водно-дисперсійних фарб на ринку України постійно зростає. У зв'язку з цим актуальним є використання пігментів-наповнювачів на основі вітчизняної сировини, введення яких до складу водно-дисперсійних фарб дозволить, зберігаючи покривність, декоративні та експлуатаційні властивості фарб, суттєво знизити собівартість останніх.

Відомо, що наповнювачі позитивно впливають на розподіл частинок пігменту в об'ємі композиції, твердість та атмосферостійкість покриттів, структуру та реологічні властивості фарб. Максимальний ефект від використання наповнювачів у складі композиційних матеріалів досягається при диспергуванні їх агломератів до мінімальних розмірів [1].

Найбільш простий спосіб інтенсифікації процесу диспергування наповнювача – підвищення швидкості зсуву. Але застосування цього методу обмежене конструкцією змішувача та супроводжується швидким зношуванням обладнання.

Поверхня мінеральних наповнювачів карбонатного типу містить як позитивно, так і негативно заряджені активні центри (Ca_2^+ , CaHCO_3^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-}), що призводить до злипання первинних частинок. Це, у свою чергу, підвищує в'язкість та седиментацію мінерального наповнювача у водному середовищі, що небажано в технологічних процесах виробництва композиційних матеріалів [2].

Ефективне диспергування досягається завдяки зміні поверхневої активності наповнювача за допомогою ПАР, які легше проникають у пори між частинками агломерату та руйнують їх, а також полегшують змочування поверхні мінералу [3].

Використання ПАР у процесі диспергування розглядається як засіб керованого впливу на протікання процесів взаємодії в системах водних дисперсій наповнювачів та лакофарбових композицій, у т. ч. регулювання реологічних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню можливості регулювання структурно-механічних і реологічних показників коагуляційної структури водних дисперсій мінеральних наповнювачів присвячено багато праць. Залежність в'язкості дисперсій карбонатів від вмісту дисперсної фази розглядалася в [4]. Вплив ПАР на реологічну поведінку водних дисперсій каолініту і монтморилоніту досліджено в [5; 6], осадової крейди – в [7], тальку та воластоніту – в [8; 9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В технологічному процесі виробництва лакофарбових матеріалів розповсюджена практика використання ПАР як реологічних добавок. Однак закономірності їх впливу щодо наповнювачів вивчені недостатньо у зв'язку з великою різноманітністю цих речовин, механізм взаємодії яких відрізняється. Крім того, відсутній достатній обсяг досліджень для систематизації даних щодо ефективності різних концентрацій модифікаторів.

Мета статті. Метою цього дослідження є вивчення впливу поверхнево активних речовин на реологічні властивості водних суспензій карбонатів. Для досягнення встановленої мети було поставлено такі завдання: вивчити структурно-механічні показники немодифікованих та модифікованих водних дисперсій карбонатів; встановити оптимальні концентрації поверхнево активних речовин; охарактеризувати вплив ПАР різної природи на реологічну поведінку водних суспензій карбонатних наповнювачів.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження є водні суспензії карбонатних наповнювачів, а саме мікрокальциту Normcal-20 турецького виробництва та крейди ММС-1 виробництва ПрАТ «Новгород-Сіверський ЗБМ» (ГОСТ 12085-88). Предметом дослідження є реологічні властивості водних суспензій карбонатних наповнювачів модифікованих ПАР.

Водні суспензії карбонатних наповнювачів отримані перемішуванням компонентів за допомогою лабораторного міксеру та подальшого модифікування через введення необхідної кількості ПАР і диспергування системи протягом 5 хв. Як модифікатори були обрані такі ПАР: розчин натрієвої солі акрилової кислоти та водно-спиртовий розчин метилсиліконату калію (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика ПАР

Назва ПАР	Лужність у перерахунку на КОН, %	Густина при 20°C, г/мл	Масова частка нелетких сполук, %
Водний розчин натрієвої солі акрилової кислоти	25,0	1,19	35,0
Водно-спиртовий розчин метилсиліконату калію	13,0	1,2	28,5

Реологічні властивості досліджувались за допомогою ротаційного віскозиметра «Rheotest-2» з використанням циліндра S3, зі зміною градієнта швидкості зсуву в межах 0,333–145,8 с⁻¹. За показниками напруги зсуву були побудовані криві течії в'язко-пластичних систем з різними концентраціями модифікатора (С, мас.%). Методом апроксимації були визначені такі реологічні характеристики, як: статична (P_{k1}) та динамічна (P_{k2}) межа плинності, шведівська (η^0) і бінгамівська в'язкість (η^*). Також були розраховані статична (P_{k1}/η^0) та динамічна пластичності (Ψ).

Виклад основного матеріалу. На реологічну поведінку водних суспензій карбонатних наповнювачів впливають фізико-хімічні властивості тонкодисперсних мінералів [10]. Основні показники дисперсності та енергетичного стану поверхні досліджених карбонатних наповнювачів наведені в табл. 2 [11].

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості карбонатних наповнювачів

Наповнювач	Середній розмір частинок, мкм	Питома поверхня за БЕТ, м ² /г	Крайовий кут змочування водою, град	Маслоємність, г/100 г	Умовний тангенс кута діелектричних втрат, tg δ
ММС-1	3,20	3,28	31	22,7	0,040
Normcal-20	4,49	1,4	30	19,0	0,060

Мікрокальцит Normcal-20 турецького виробництва має більший середній розмір частинок – 4,49 мкм, що пояснює невелику схильність до утворення агрегатів. Крейда ММС-1 більш здатна до агрегації, оскільки має менший середній розмір частинок, що становить 3,2 мкм. Досліджувані зразки мають відносно невелику питому поверхню за БЕТ, 1,4 м²/г у кальциту Normcal-20 і дещо більша 3,28 м²/г у крейди ММС-1. Значення крайового кута змочування водою для мікрокальциту Normcal-20 та ММС-1, незважаючи на різну кристалохімічну будову, доволі близькі і становлять 30 та 31 градус відповідно. Проте більш гідрофільною є поверхня мікрокальциту Normcal-20, значення показника умовного тангенса кута діелектричних втрат якого значно вище, 0,060 проти 0,040. За показником маслоємності більше значення – 22,7 г/100 г має українська крейда, що характеризує її поверхню як більш ліофільну.

Досліджені показники фізико-хімічних властивостей карбонатних наповнювачів дають змогу охарактеризувати поверхню крейди як більш активну порівняно з мікрокальцитом, що неодмінно впливатиме на реологічну поведінку в суспензіях.

У роботі досліджувались суспензії мікрокальциту Normcal-20 та крейди ММС-1. Значення статичних меж плинності становлять 30,86 і 104,17 Па, динамічних меж плинності – 176,42 та 604,93 Па, бінгамівська в'язкість – 24,4 і 45,11, шведівська – 0,60 та 3,93 відповідно для суспензій мікрокальциту та крейди. Нижча мінімальна межа початку течії суспензії мікрокальциту пов'язана з його менш розвинутою питоною поверхнею, а більш високі межі статичної та динамічної плинності крейди – як більш розвинутою питоною поверхнею, так і енергетичним станом, що сприяють утворенню стійких коагуляційних структур.

Встановлено, що введення поверхнево активних речовин, а саме метилсіліконату калію та акрилату натрію в досліджувані системи призводить до зменшення міцності їх структури, яка характеризується межею плинності P_{k1} , або мінімальною напругою зсуву, при якій у системі руйнуються зв'язки і починається течія. Причому зменшення міцності системи як на основі мікрокальциту, так і на основі крейди відбувається більш інтенсивно у випадку застосування акрилату натрію.

Використання модифікаторів впливає і на характер течії водних дисперсій модифікованих карбонатів. Аналіз реологічних кривих залежностей напруги зсуву від швидкості зсуву дисперсій мікрокальциту показав, що зі зростанням концентрації метилсілі-

конату калію величина напруги зменшується майже в 2 рази, тоді як у випадку використання акрилату натрію – у 4,5 рази (рис. 1).

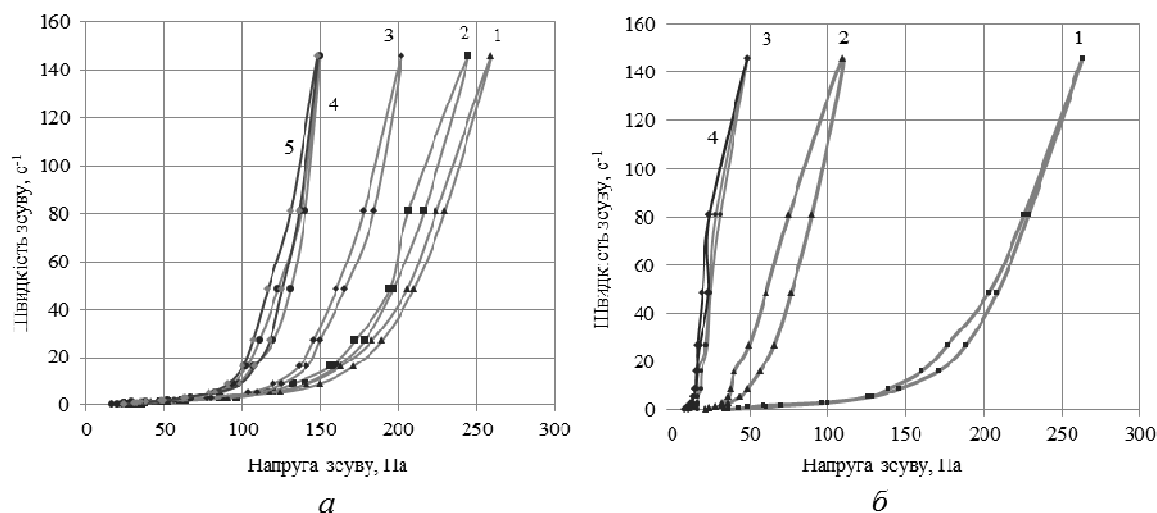


Рис. 1. Реологічні криві водних суспензій мікрокальциту Nortcal-20 модифікованих (а) метилсіліконатом калію: 1 – 0 мас.%, 2 – 1 мас.%, 3 – 2 мас.%, 4 – 3 мас.%, 5 – 4 мас.%; (б) акрилатом натрію: 1 – 0 мас.%, 2 – 0,06 мас.%, 3 – 0,12 мас.%, 4 – 0,25 мас.%

Величина напруги зсуву для водних дисперсій крейди із підвищенням концентрації метилсіліконату калію зменшується в 2,5 рази, акрилату натрію – майже у 6 разів (рис. 2).

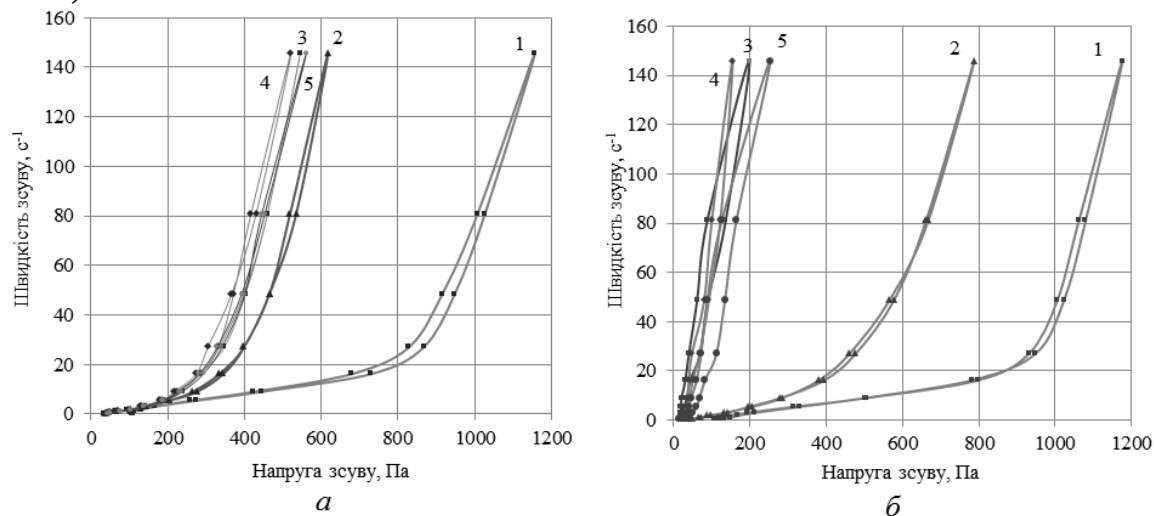


Рис. 2. Реологічні криві водних суспензій крейди ММС-1 модифікованих (а) метилсіліконатом калію: 1 – 0 мас.%, 2 – 1 мас.%, 3 – 2 мас.%, 4 – 3 мас.%, 5 – 4 мас.%; (б) акрилатом натрію: 1 – 0 мас.%, 2 – 0,03 мас.%, 3 – 0,06 мас.%, 4 – 0,12 мас.%, 5 – 0,25 мас.%

Про зменшення міцності структур карбонатних водних суспензій після їх модифікування свідчить зменшення найбільшої пластичної в'язкості та збільшення статичної пластичності.

Введення в суспензії мікрокальциту метилсіліконату калію та акрилату натрію призводить до зменшення статичної межі плинності зі збільшенням концентрації модифікатора. Це свідчить про те, що система має низький опір щодо навантажень, тобто міцність структури при статичному навантаженні падає і зменшується статична в'язкість. Зменшення статичної в'язкості супроводжується зменшенням статичної пластичності системи (табл. 3).

Таблиця 3

Реологічні характеристики суспензій мікрокальциту Normcal-20

Концент- рація ПАР, мас. %	Статична межа плинності R_{k1} , Па	Динамічна межа плинності R_{k2} , Па	Статична пластичність R_{k1}/η^0 , c^{-1}	Найбільша пластична в'язкість η^0 , Па·с	Найменша пластична в'язкість η^* , Па·с	Динамічна пластич- ність Ψ , c^{-1}
<i>Без ПАР</i>						
–	30,86	176,42	1,26	24,4	0,5998	294,1
<i>Метилсіліконат калію</i>						
1	19,63	183,51	0,82	23,98	0,5209	352,3
2	19,73	149,05	0,86	22,86	0,3589	415,2
3	12,83	125,2	0,58	22,23	0,1642	762,4
4	20,3	114,95	1,36	14,93	0,2224	516,9
<i>Акрилат натрію</i>						
0,06	19,37	45,84	3,28	5,99	0,4342	105,57
0,12	14,27	15,34	44,84	0,44	0,2003	76,5
0,25	8,99	9,09	8,22	1,56	0,2362	38,5

Реологічні властивості модифікованих суспензій карбонатів змінюються залежно від концентрації модифікаторів. Статична межа плинності суспензій зменшується в 2,4 рази порівняно із суспензіями без ПАР при концентрації метилсіліконату натрію 3 мас.% та у 3,4 рази при концентрації акрилату натрію 0,25 мас.%. При цих концентраціях пластична в'язкість систем досягає мінімуму, а динамічна межа плинності зменшується з 176,42 Па до 114,95 Па у випадку використання метилсіліконату натрію та до 9 Па після модифікування акрилатом натрію. Зафіксовані зменшення дають підставу стверджувати, що системи стали більш розрідженими в результаті модифікування, а для суспензій мікрокальциту концентрації 3 мас.% метилсіліконату калію та 0,12 мас.% акрилату натрію є оптимальними. Подальше збільшення концентрацій ПАР значно не змінює в'язкість системи або ж, взагалі, призводить до зростання наведених параметрів.

Модифікування суспензій крейди ММС-1 поверхнево-активними речовинами теж призводить до зменшення статичної та динамічної меж плинності, а також найбільшої та найменшої пластичної в'язкості (табл. 4).

Таблиця 4

Реологічні характеристики суспензій крейди ММС-1

Концент- рація ПАР, мас. %	Статична межа плинності R_{k1} , Па	Динамічна межа плинності R_{k2} , Па	Статична пластичність R_{k1}/η^0 , c^{-1}	Найбільша пластична в'язкість η^0 , Па·с	Найменша пластична в'язкість η^* , Па·с	Динамічна пластич- ність Ψ , c^{-1}
<i>Без ПАР</i>						
–	104,17	604,93	2,30	45,11	3,93	153,9
<i>Метилсіліконат калію</i>						
1	30,59	422,84	0,97	31,30	1,45	291,6
2	26,51	352,27	0,81	32,70	1,57	224,4
3	29,85	335,30	0,81	36,41	1,09	307,6
4	35,04	296,49	1,38	25,36	1,63	181,9
<i>Акрилат натрію</i>						
0,03	33,1	517,37	0,88	37,41	1,83	282,7
0,06	11,68	34,85	2,31	5,06	1,09	31,98
0,12	18,57	47,58	2,45	7,56	0,81	58,74
0,25	16,76	65,77	1,81	9,23	0,99	66,43

Мінімальне значення статичної межі плинності зафіксоване при концентрації 2 мас.% метилсиліконату калію та 0,06 мас.% акрилату натрію. Значення цього показника для відповідних ПАР у 4 та 9 разів менше, ніж для немодифікованих суспензій з крейдою. Динамічна межа плинності досягає мінімуму при цих же концентраціях. При подальшому збільшенні концентрацій модифікаторів спостерігається зростання динамічної межі текучості. Найменша пластична в'язкість при оптимальних концентраціях ПАР зменшується відповідно у 2,5 та 3,6 разів, а найбільша пластична в'язкість – майже у 1,5 та 9 разів порівняно із вихідними суспензіями.

Висновки і пропозиції. Досліджені реологічні властивості висококонцентрованих водних суспензій мікрокальциту Normcal-20 і крейди ММС-1 у присутності двох аніонних поверхнево-активних речовин карбонільної і силанольної природи.

Концентрації метилсиліконату калію вище 3 мас.% у суспензії викликають значне зниження в'язкості системи. Всі досліджувані зразки суспензій проявляють псевдопластичний тип течії, при цьому найменш міцна структура утворюється у випадку використання акрилату натрію в концентрації 0,12 мас.% як для мікрокальцитів, так і для крейди.

Отже, модифікування суспензій карбонатів поверхнево-активними речовинами призводить до порушення коагуляційних зв'язків, підвищення їх стійкості до розшаровування, значного зменшення в'язкості.

Список використаних джерел

1. Брок Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям : справочник / Т. Брок, М. Гротэклаус, П. Мишке. – М. : Стандарт, 2007. – 548 с.
2. Караваєв Т. А. Властивості поверхні карбонатних наповнювачів / Т. А. Караваєв, В. А. Свідерський, І. В. Земляной // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – № 4. – С. 95–100.
3. Detlef Gysau. Fillers for Paints. – Hannover/Germany : Vincentz Network, 2006. – 199 p.
4. Реологія суспензій на основі карбонату кальцію / Р. В. Мілоцький, О. В. Миронюк, І. В. Земляной, Т. А. Караваєв, В. А. Свідерський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/6 (55). – С. 20–23.
5. Свідерський В. А. Реологічна поведінка водних суспензій каолінів в присутності поверхнево-активних речовин / В. А. Свідерський, О. С. Сікорський, О. В. Миронюк // Технологічний аудит и резервы производства. – 2013. – № 2/1 (10). – С. 45–48.
6. Permen, T. The rheological and colloidal properties of bentonite dispersions in the presence of organic compounds V. Bentonite and sodium montmorillonite and surfactants / T. Permen, G. Lagaly // Clay and clay minerals. – 1995. – Vol. 43, № 2. – P. 229–236.
7. Mikanovic, N. Influence of Surfactant Chemical admixtures on the Stability and rheological Properties of Calcium Carbonate and Cement Pastes / N. Mikanovic, C. Jolicœur, M. Page // Proceedings of conference «Recent developments in superplasticizers». – 2006. – Vol. 239, october. – P. 321–344.
8. Реологическое поведение водных суспензий талька / А. В. Миронюк, А. А. Сикорский, Т. А. Караваєв, В. А. Свидерский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/6 (60). – С. 12–15.
9. Свідерський В. А. Вплив поверхнево-активних речовин на реологічну поведінку водних суспензій воластоніту / В. А. Свідерський, О. С. Сікорський, О. В. Миронюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 26 (62). – С. 55–58.
10. Egres R. G., Wagner N.J. The rheology and microstructure of acicular precipitated calcium carbonate colloidal suspensions through the shear thickening transition // Society of rheology. – Journal of rheology, 2005. – No. 49, is. 3. – P. 719–746.
11. Караваєв Т. А. Особливості хімічного складу та структури вітчизняних і закордонних карбонатних наповнювачів / Т. А. Караваєв, В. А. Свідерський // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" : збірник наукових праць. Серія: "Хімія, хімічні технології та екологія". – 2012. – № 32. – С. 116–124.

УДК 542.87:621.359.7

І.М. Трус, аспірант**І.М. Макаренко**, канд. техн. наук**Т.О. Шаблій**, д-р техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

ОПРІСНЕННЯ ШАХТНИХ ВОД З ВИСОКОЮ ЖОРСТКІСТЮ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОДІАЛІЗУ

І.Н. Трус, аспірант**І.Н. Макаренко**, канд. техн. наук**Т.А. Шаблій**, д-р техн. наук

НТУУ «КПІ», г. Киев, Украина

ОПРЕСНЕНИЕ ШАХТНЫХ ВОД С ВЫСОКОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

Inna Trus, PhD student**Iryna Makarenko**, PhD in Technical Sciences**Tetiana Shabliy**, Doctor of Technical Sciences

NTUU «KPI», Kyiv, Ukraine

DESALINATION OF MINE WATER WITH HIGH HARDNESS WHILE USING ELECTRODIALYSIS

Визначено вплив умов електролізу на ефективність знесолення та пом'якшення води. Вивчено вплив додавання магнезиту в робочий розчин на ефективність пом'якшення води у процесі електролізу і встановлено, що 54 % надлишок магнезиту від стехіометричної кількості сприяє підвищенню ступеню знесолення води. Проведені дослідження показали, що в діапазоні концентрацій лугу в католіті від 150 до 1000 мг-екв/дм³ ефективність пом'якшення води та вилучення із неї сульфатів і хлоридів практично не змінюється.

Ключові слова: електродіаліз, мінералізація, анод, катод, концентрат, мембрана, опріснення води.

Определено влияние условий электролиза на эффективность обессоливания и умягчения воды. Изучено влияние добавления магнезита в рабочий раствор на эффективность смягчения воды в процессе электролиза и установлено, что 54 % избыток магнезита от стехиометрического количества способствует повышению степени обессоливания воды. Проведенные исследования показали, что в диапазоне концентраций щелочи в католите от 150 до 1000 мг-экв/дм³ эффективность умягчения воды и удаления из нее сульфатов и хлоридов практически не меняется.

Ключевые слова: электродиализ, минерализация, анод, катод, концентрат, мембрана, опреснение воды.

In this work the influence of electrolysis conditions on the efficiency of desalination and water softener is studied. Studied the effect of the magnesite addition in the working solution on the efficiency of the water softening process during electrolysis and found that 54% excess of magnesite from stoichiometry amounts improves the degree of water desalting. Studies have shown that the range of alkali concentrations in catholyte from 150 to 1000 mg-ekv/dm³, efficiency of water softening and removal of sulfates and chlorides practically does not change.

Key words: electrodialysis, mineralization, anode, cathode, concentrate, membrane, desalination.

Вступ. На сьогодні при демінералізації шахтних вод поряд з реагентними методами, які рекомендується застосовувати при вилученні з води сульфатів [1; 2], баромембранними та іонообмінними процесами [3; 4] широко використовуються методи електродіалізу [5–8]. Здебільшого процеси електродіалізу проводять у розчинах, які очищені від іонів жорсткості, або концентрація яких у цих розчинах невисока [9; 10]. За наявності у воді іонів жорсткості у високих концентраціях застосовують електролізери з двома аніонними мембранами [11].

Метою цієї роботи було вивчення процесів електролізу шахтних вод з високою жорсткістю у трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами, визначення впливу умов електролізу на ефективність пом'якшення та знесолення води.

Методика експерименту. Як водне середовище, яке знесолювали електродіалізом, використовували стічні води із шахт «Кремінна» ($[Cl^-] = 653,2$ мг/дм³, $[SO_4^{2-}] = 1000,0$ мг/дм³, Ж = 36,5 мг-екв/дм³, $[Ca^{2+}] = 20,5$ мг-екв/дм³, Л = 7,2 мг-екв/дм³, рН = 8,94) та «Інгульська» ($[Cl^-] = 331$ мг/дм³, $[SO_4^{2-}] = 775$ мг/дм³, Ж = 18 мг-екв/дм³, $[Ca^{2+}] = 11,2$ мг-екв/дм³, Л = 4,5 мг-екв/дм³, рН = 8,0).

За аналогією з роботою [7] в цій роботі для запобігання міграції іонів жорсткості в катодну область зі сторони катода розмістили аніонну мембрану МА-41. Зі сторони анода також розмістили аніонну мембрану МА-41. У просторі між мембранами ($V=0,2 \text{ дм}^3$) розміщали робочий розчин. Анодну область заповнювали 0,05 Н розчином сірчаної кислоти, катодну – 0,150, 0,283 та 1,000 Н розчинами лугу. Катод – пластина з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Анод – титанова пластина, покрита оксидом рутенію. Площа електродів $S_K = S_A = 0,20 \text{ дм}^2$. Електроліз проводили при силі струму 0,1–0,2 А при напрузі 15–30 В.

При проведенні електролізу через однакові проміжки часу контролювали лужність у катодній та робочій зоні, вміст хлоридів, сульфатів, кальцію, жорсткість у робочій зоні, концентрацію хлоридів та сульфатів в анодній області. Робочий розчин перед аналізом очищали від осаду фільтруванням на паперовому фільтрі «синя стрічка».

Вихід за струмом розраховували як відношення реальної кількості видалених з розчину хлоридів та сульфатів до теоретично розрахованої за законом Фарадея [6].

Результати досліджень та їх обговорення. Для ефективного пом'якшення шахтних вод у робочі розчини додавали різні кількості магнезиту. Ця речовина дозволяє ефективно переводити в нерозчинний стан іони кальцію.

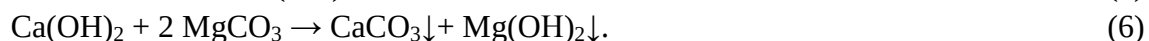
Загалом хімізм процесів, що реалізується в цьому електролізері, можна описати реакціями. У катодній області відбувається утворення водню із підключенням середовища:



Надлишок негативно заряджених аніонів у катодній області знижується за рахунок міграції гідроксид аніонів у робочу зону (середню камеру електролізера), де відбувається пом'якшення води:



де X^- – однозарядний аніон;



В анодній області відбувається накопичення сульфатів та хлоридів, які проходять через аніонну мембрану з робочого розчину. При цьому при електролізі води виділяється кисень та утворюються протони, що в цілому призводить до накопичення кислоти в анодній області:



Головним чином утворюється суміш сірчаної та соляної кислот. Вміст соляної кислоти незначний, тому що більша частина хлоридів виділяється у вигляді активного хлору:



Про перебіг цих процесів можна судити за результатами, наведеними на рис. 1–4.

Як видно з рис. 1, за час електролізу концентрація сульфатів у стічній воді шахти «Кремінна» знижується до 350–380 мг/дм³, хлоридів до 125–135 мг/дм³. При цьому ефективність очищення води від хлоридів та сульфатів практично не залежить від концентрації лугу в анодній області. В такому випадку концентрації лугу в катодній області змінювали від 150 до 1000 мг-екв/дм³. У роботі [11] було чітко показано, що підвищення лужності католіту з 10 до 100 мг-екв/дм³ суттєво сприяє підвищенню ефективності демінералізації води в подібному електролізері.

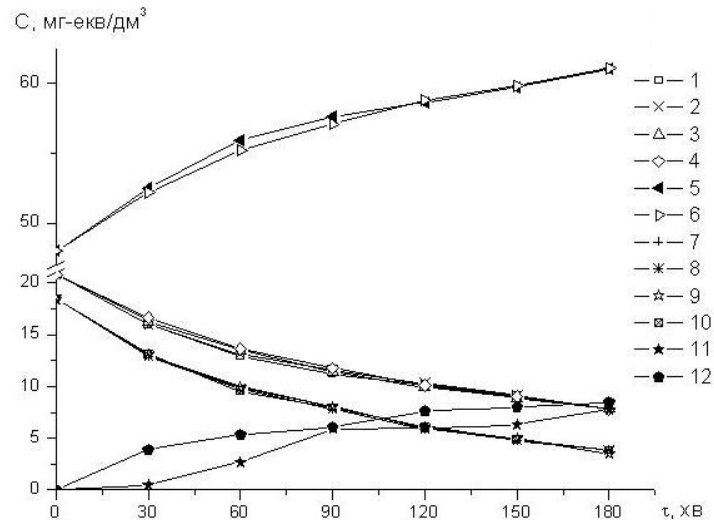


Рис. 1. Залежність концентрації сульфатів (1-6), хлоридів (7-12) у робочій зоні (1-4; 7-10) та в анодній області (5; 6; 11; 12) трикамерного електролізера з двома аніонними мембранами МА-41 від часу електролізу стічної води шахти «Кремінна» при дозі магнезиту $16,0 \text{ мг-екв/дм}^3$ та концентрації луку в катодній області $0,15\text{Н}$ (1; 5; 7; 11); $0,25\text{Н}$ (2; 8); $0,50\text{Н}$ (3; 9); $1,00\text{Н}$ (4; 6; 10; 12) ($I = 0,2 \text{ А}$, $U = 20 \text{ В}$, $j = 1,0 \text{ А/дм}^2$) при концентрації сірчаної кислоти в анодній області $0,048 \text{ г-екв/дм}^3$

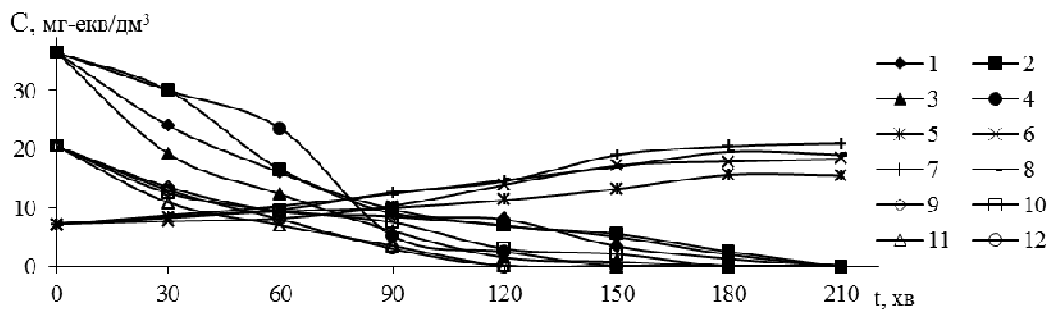


Рис. 2. Вплив часу електролізу стічної води шахти «Кремінна» у трикамерному електролізері (дві аніонні мембрани МА-41, $I = 0,2 \text{ А}$, $U = 20 \text{ В}$, $j = 1,0 \text{ А/дм}^2$) на її залишкову жорсткість (1-4), лужність (5-8) та вміст у ній іонів кальцію (9-12) при лужності католіту $0,15\text{Н}$ (1; 5; 9); $0,25\text{Н}$ (2; 6; 10); $0,50\text{Н}$ (3; 7; 11); $1,00\text{Н}$ (4; 8; 12) при кислотності аноліту $0,048 \text{ г-екв/дм}^3$, при дозі магнезиту $13,3 \text{ мг-екв/дм}^3$

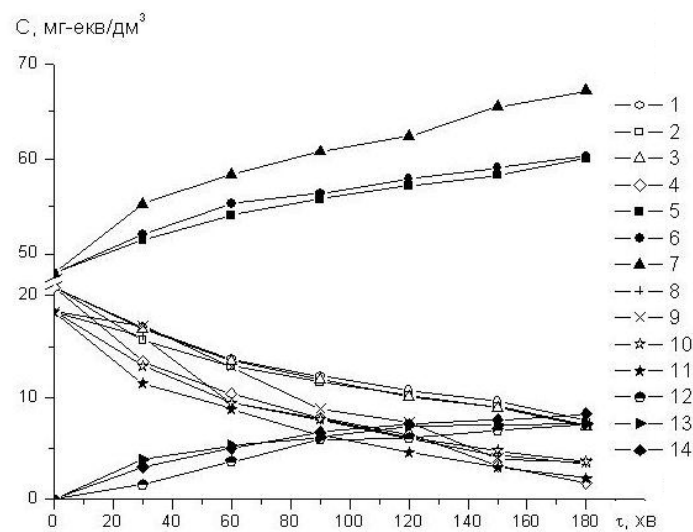


Рис. 3. Залежність концентрації сульфатів (1-7) та хлоридів (8-14) у робочій зоні (1-4; 8-11) та в анодній області (5-7; 12-14) трикамерного електролізера з двома аніонними мембранами МА-41 від часу електролізу стічної води шахти «Кремінна» при лужності католіту $1,0 \text{ Н}$, при дозі магнезиту $13,6 \text{ мг-екв/дм}^3$ (1; 5; 8; 12); $14,4 \text{ мг-екв/дм}^3$ (2; 9); $16,0 \text{ мг-екв/дм}^3$ (3; 6; 10; 13); $20,5 \text{ мг-екв/дм}^3$ (4; 7; 11; 14) при кислотності аноліту $0,048 \text{ г-екв/дм}^3$

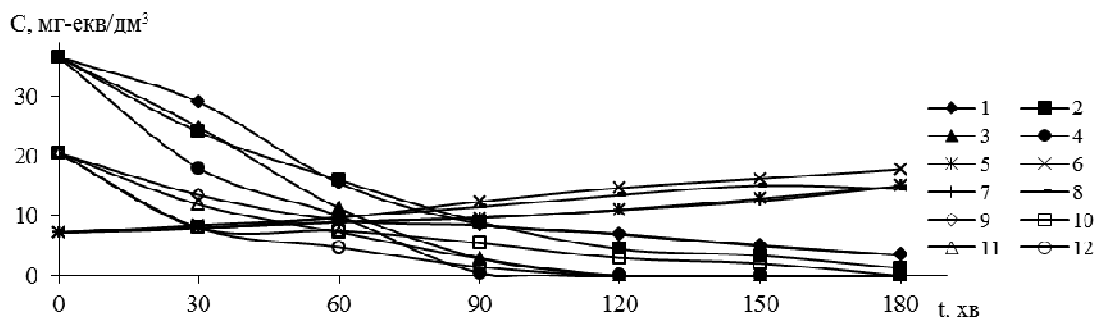


Рис. 4. Вплив часу електролізу стічної води шахти «Кремінна» у трикамерному електролізері (дві аніонні мембрани МА-41, $I = 0,2$ А, $U = 20$ В, $j = 1,0$ А/дм²) на її залишкову жорсткість (1-4), лужність (5-8) та концентрацію іонів кальцію (8-12) при лужності католіту 1,0 Н та дозі магнєзиту мг-екв/дм³: 13,6 мг-екв/дм³ (1; 5; 9); 14,4 мг-екв/дм³ (2; 6; 10); 16,0 мг-екв/дм³ (3; 7; 11); 20,5 мг-екв/дм³ (4; 8; 12)

Досить ефективно проходило пом'якшення води. Як видно з рис. 2, за 3 години жорсткість води знижується до 0,0–2,5 мг-екв/дм³. Практично повністю з води видаляються іони кальцію. Доза магнєзиту в цьому випадку дорівнює 13,3 мг-екв/дм³, що відповідає різниці між концентрацією кальцію у воді та лужністю розчину. Саме така кількість гідроксиду кальцію повинна утворитись у процесі електролізу за реакцією (5).

При визначенні впливу магнєзиту на процеси знесолення стічної води шахти «Кремінна» (рис. 3, 4) було встановлено, що при використанні магнєзиту в кількості 13,3–16,0 мг-екв/дм³ (100–120 % від розрахованої кількості) результати з очищення води від хлоридів та сульфатів, а також ефективність пом'якшення води практично не змінюються. Лише при дозі магнєзиту 20,5 мг-екв/дм³, що відповідає загальному вмісту кальцію у воді, суттєво зростає ефективність очищення води від сульфатів та хлоридів (залишкові концентрації яких відповідно становлять 70–78 та 70–80 мг/дм³). Зростає ефективність пом'якшення води.

Це пов'язано в першу чергу з тим, що магнєзит зв'язує гідроксид аніони за реакціями (2) та (5), тому ці іони не створюють конкуренцію хлоридам та сульфатам при дифузії через аніонну мембрану в анодну область. Це також сприяє підвищенню виходу за струмом при знесоленні води (рис. 5).

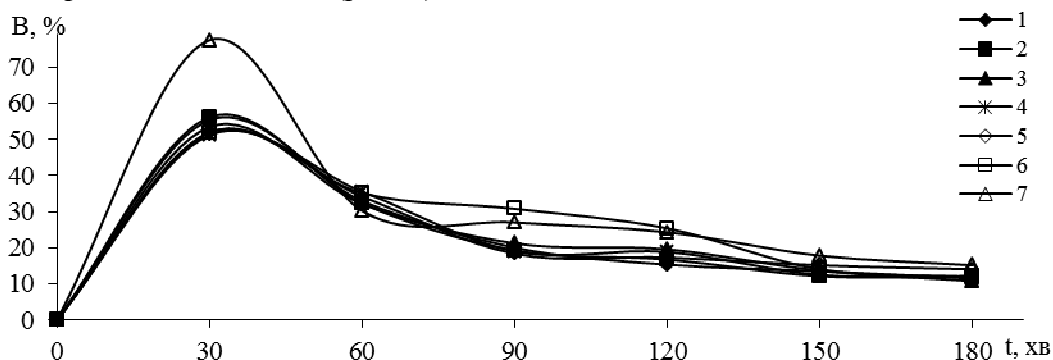


Рис. 5. Залежність виходу за струмом при електродіалізі від часу електролізу при концентрації луку в катодній області: 0,15 Н (1); 0,25 Н (2); 0,50 Н (3); 1,0 Н (4-7) при дозі магнєзиту 13,6 мг-екв/дм³ (5); 14,4 мг-екв/дм³ (6); 16,0 мг-екв/дм³ (1-4), 20,5 мг-екв/дм³ (7)

Проте наявність магнєзиту в робочому розчині не дозволяє повністю уникнути зростання лужності у ньому (рис. 2, 4). Так, при мінімальній дозі магнєзиту лужність у воді зростає з 7 до 15–21 мг-екв/дм³. Приріст лужності тим більший, чим вища лужність католіту. При підвищенні дози магнєзиту при лужності католіту 1000 мг-екв/дм³ залишкова лужність опрісненої стічної води знижується з 17,8 до 14,5 відповідно при дозах магнєзиту 14,4 та 20,5 мг-екв/дм³.

Слід зазначити, що на зміну концентрації сульфатів та хлоридів в анодній області (рис. 1, 3) не впливає ні лужність католіту, ні доза магнезиту. Зміна концентрації сульфатів в аноліті визначається лише дифузією сульфатів через аніонну мембрану. Приріст концентрації хлоридів залежить від їх дифузії через аніонну мембрану з робочого розчину в аноліт та від процесу окислення хлоридів до активного хлору. В усіх випадках залишковий вміст хлоридів в аноліті коливається від 250 до 350 мг/дм³.

Ефективним було застосування цього електролізера і для знесолення стічної води шахти Інгульська (рис. 6).

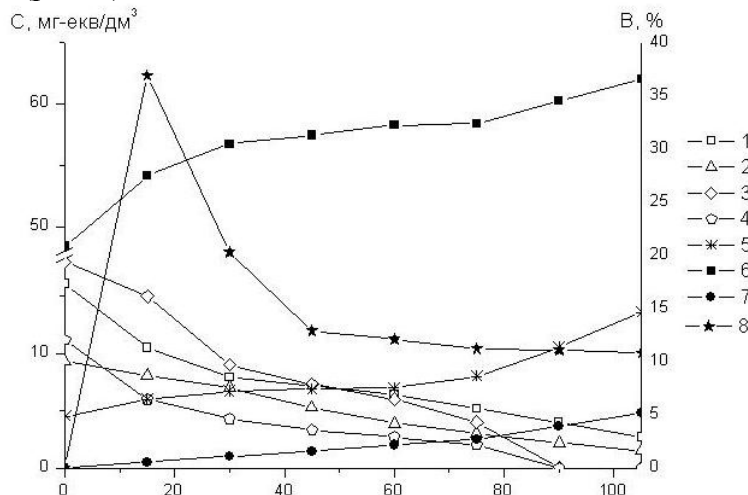


Рис. 6. Вплив часу електролізу стічної води шахти «Інгульська» у трикамерному електролізері (дві аніонні мембрани МА-41, $I = 0,2$ А, $U = 30$ В, $j = 1,0$ А/дм²) на залишковий вміст сульфатів (1, 6), хлоридів (2, 7), жорсткість (3), кальцій (4), лужність (5), вихід за струмом (8) в робочій зоні (1-5) та в анодній області (6, 7) при лужності католіту 1,0 Н та дозі магнезиту 6,7 мг-екв/дм³

У цьому випадку за півтори години електролізу було досягнуто повного пом'якшення води, залишковий вміст хлоридів становив 53 мг/дм³, сульфатів 127 мг/дм³ при лужності 13,6 мг-екв/дм³. Вміст хлоридів в анодній області сягав 170 мг/дм³.

Висновки

1. Вивчено процеси демінералізації шахтних вод з високою жорсткістю в трикамерних електролізерах з двома аніонними мембранами, визначено ефективність знесолення та пом'якшення води від параметрів процесу електролізу.

2. Встановлено, що в діапазоні концентрацій луку в католіті від 150 до 1000 мг-екв/дм³ лужність розчину в катодній області не впливає на ефективність пом'якшення води та вилучення із неї сульфатів і хлоридів.

3. Показано, що при додаванні магнезиту в робочий розчин ефективність пом'якшення води у процесі електролізу є досить високою при незначному зростанні її лужності. Збільшення дози магнезиту на 20 % від стехіометричної кількості не впливає на ефективність очищення води. При надлишку магнезиту 54 % від стехіометричної кількості відмічено підвищення ступеню знесолення води.

Список використаних джерел

1. Трус І. М. Застосування алюмінієвих коагулянтів для очищення стічних вод від сульфатів при їх пом'якшенні / І. М. Трус, В. М. Грабітченко, М. Д. Гомеля // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/10 (60). – С. 13–17.
2. Гомеля Н. Д. Очистка воды от сульфатов известкованием при добавлении реагентов, содержащих алюминий / Н. Д. Гомеля, И. Н. Трус, Ю. В. Носачева // Химия и технология воды. – 2014. – № 2. – С. 129–137.
3. Кучерик Г. В. Исследование процессов умягчения при деминерализации шахтных вод на анионите АВ-17-8 / Г. В. Кучерик, Ю. А. Омельчук, Н. Д. Гомеля // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 2/11(62). – С. 35–38.

4. *Застосування* слабокислотного катіоніту Dowex MAC-3 для стабілізаційної обробки води / І. М. Макаренко, О. В. Глушко, В. В. Рисухін, В. П. Малін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/6(57). – С. 16–20.
5. *Писарска Б.* Анализ условий получения H_2SO_4 и NaOH из растворов сульфата натрия методом электродиализа / Б. Писарска, Р. Дилевски // Журнал прикладной химии. – 2005. – Т. 78, № 8. – С. 1311–1316.
6. *Шаблій Т. О.* Електрохімічна переробка відпрацьованих розчинів, що утворюються при регенерації катіонітів / Т. О. Шаблій, М. Д. Гомеля, Є. М. Панов // Экология и промышленность. – 2010. – № 2. – С. 33–38.
7. *Шаблій Т. О.* Електродіаліз розчину хлориду натрію з одержанням соляної кислоти та луку / Т. О. Шаблій, В. В. Іванюк, М. Д. Гомеля // Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2011. – № 1 (II). – С. 67–71.
8. *Видалення та розділення хлоридів і сульфатів при іонообмінному знесоленні води* / О. В. Голтвяницька, Т. О. Шаблій, М. Д. Гомеля, С. С. Ставська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1. – С. 40–44.
9. *Чхенадзе Н. В.* К определению допустимой величины кальциевой жесткости при электролизе минерализованных вод с одновременным концентрированием / Н. В. Чхенадзе, Ц. С. Курцхалия // GEN: Georg. Eng. News. – 2004. – № 4. – С. 118–122.
10. *Кучерик Г. В.* Електрохімічне вилучення хлоридів із природних вод і лужних регенераційних розчинів / Г. В. Кучерик, Ю. А. Омельчук, М. Д. Гомеля // Збірник наукових праць СНУАЕтаП. – 2011. – Т. 2, № 38. – С. 189–196.
11. *Шаблій Т. О.* Створення нових реагентів і технологій для захисту вододім від забруднення промисловими стоками : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Т. О. Шаблій. – К., 2014. – 39 с.

РОЗДІЛ III. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.1

В.І. Кальченко, д-р техн. наук

О.С. Следнікова, студент

Д.В. Кальченко, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Д.Г. Музичка, старш. викладач

Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

3D-МОДЕЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ТОРЦІВ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПРЯМОКУТНИХ ПЛАСТИН ОРІЄНТОВАНИМ КРУГОМ

В.И. Кальченко, д-р техн. наук

Е.С. Следникова, студент

Д.В. Кальченко, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Д.Г. Музычка, ст. преподаватель

Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск, Украина

3D-MODEЛИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТОРЦОВ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН ОРИЕНТИРОВАННЫМ КРУГОМ

Vitalii Kalchenko, Doctor of Technical Sciences

Olena Sliednikova, student

Dmytro Kalchenko, student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Diana Muzychka, senior teacher

Dniprodzerzhinsk State Technical University, Dniprodzerzhinsk, Ukraine

3D-MODELING OF TOOLS AND FORMING WHILE GRINDING FACES OF INDEXABLE RECTANGULAR PLATES IN ORIENTED CIRCLE

Вперше запропоновано тримірне геометричне моделювання інструментів та формоутворення оброблюваних торцевих поверхонь непереточуваних пластин з прямокутним профілем. Шліфування торцевих поверхонь непереточної пластини з прямокутним профілем виконується чашечним шліфувальним кругом. Розроблено новий спосіб торцевого шліфування алмазним кругом, де у процесі поздовжнього переміщення деталі відносно шліфувального круга чорновий припуск знімається периферією круга, а чистове шліфування виконується його торцем. Круг повертається на кут, який забезпечує потрібну точність формоутворення торцевої поверхні непереточної пластини з прямокутним профілем, при заданих розмірах та орієнтації деталі та розмірах інструмента.

Ключові слова: 3D-моделювання, плоске шліфування, формоутворення, чашковий шліфувальний круг, орієнтований інструмент.

Впервые предложено трехмерное геометрическое моделирование инструментов и формообразования обрабатываемых торцевых поверхностей неперетачиваемых пластин с прямоугольным профилем. Шлифование торцевых поверхностей неперетачиваемой пластины с прямоугольным профилем выполняется чашечным шлифовальным кругом. Разработан новый способ торцевого шлифования алмазным кругом, где в процессе продольного перемещения детали относительно шлифовального круга черновой припуск снимается периферией круга, а чистовое шлифование выполняется его торцом. Круг поворачивается на угол, который обеспечивает нужную точность формообразования торцевой поверхности неперетачиваемой пластины с прямоугольным профилем, при заданных размерах и ориентации детали и размерах инструмента.

Ключевые слова: 3D-моделирования, плоское шлифование, формообразования, чашечный шлифовальный круг, ориентированный инструмент.

First proposed a three-dimensional geometric modeling tools and forming processed end surfaces disposable plates with a rectangular profile. Grinding end surfaces disposable plates with a rectangular profile is performed cup grinding wheel. A new method for face grinding diamond wheel, where in the course of the longitudinal movement details on the grinding wheel roughing allowance is removed periphery of the circle and finish grinding is performed its end. Circle is

rotated by an angle that provides the desired precision forming end face disposable plates with a rectangular profile, given the size and orientation of parts and size of the tool.

Key words: 3D-modeling, flat grinding, shaping, wire cup grinding wheel oriented tool.

Постановка проблеми. Наявна тенденція розвитку тривимірного геометричного моделювання у країнах, де розвинене машинобудування та верстатобудування. Однак сучасні 3D-моделі недостатньо враховують особливості інструментів з надтвердих матеріалів та формоутворення у процесі торцевого шліфування. В умовах, коли вітчизняне машинобудування та верстатобудування прагнуть стати конкурентоспроможним та високоефективним, ця проблема набуває народногосподарського значення.

На інструментальних, машинобудівних, верстатобудівних заводах широко використовуються непереточувані пластини та деталі з некруглим профілем. Здебільшого їх обробляють на одно-, двосторонніх торцешліфувальних та плоскошліфувальних верстатах. В умовах сучасних ринкових відносин, коли швидко змінюється номенклатура виробів, що обробляються, висуваються вимоги високої гнучкості та продуктивності виробництва.

Розроблення нових взаємопов'язаних 3D-моделей інструментів та формоутворення, які описують процес плоского шліфування непереточуваних пластин з прямокутним профілем чашковим кругом, поверненим на певний кут, їх дослідження сприятимуть створенню нових високоефективних способів та технологій шліфування та їх впровадженню в промисловість.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [3; 6; 7] наведені 3D геометричні моделі формоутворення поверхонь і проектування інструментів при обробленні різанням, не наведено 3D-моделі формоутворення плоского торцевого шліфування деталей з прямокутним профілем.

У фундаментальній роботі [8] за точністю металорізальних верстатів розроблені частинні 3D-моделі формоутворюючих систем різноманітних верстатів, але загальних 3D-моделей, які враховують формоутворення плоского торцевого шліфування деталей з прямокутним профілем, не наведено.

У роботах [4; 5] розглядається плоске шліфування торців деталей, але відсутній вибір кута нахилу інструмента.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відсутність загальних 3D-моделей формоутворення прямокутних непереточуваних пластин на плоскошліфувальних верстатах з вибором кута нахилу шліфувального круга.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є створення загальної 3D-моделі, яка описує інструмент, та формоутворення торцевої поверхні прямокутної непереточуваної пластини, на основі досліджень цих моделей розроблення способів, що забезпечать підвищення точності шліфування торцевих поверхонь кругом з надтвердих матеріалів. Це дозволить за загальним алгоритмом аналізувати процес формоутворення, розробити нові способи і на їх підґрунті високоефективні технології шліфування торцевих поверхонь орієнтованим кругом.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1, а зображено процес плоского шліфування торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем 2, чашковим шліфувальним кругом 1. Чашковий шліфувальний круг 1 повертається на кут φ_{op} у площині, що проходить через його вісь обертання O_uX_u і перпендикулярна до оброблюваної поверхні деталі. Деталь 2 здійснює поперечне установче переміщення S_{pop} вздовж осі $O_\delta Z_\delta$ системи координат $O_\delta X_\delta Y_\delta Z_\delta$ та поздовжню подачу $S_{пр}$ вздовж осі $O_\delta Y_\delta$ на подвійний хід, при цьому чорновий припуск знімається периферією круга, а чистове шліфування виконується його торцем, після обробки деталь рухається у зворотному напрямку $S_{пр}$ без врізання.

Площина симетрії шліфувального круга $Y_uO_uZ_u$ системи координат $O_uX_uY_uZ_u$ збігається з площиною симетрії деталі $Y_\delta O_\delta Z_\delta$ вздовж її більшої сторони.

Для розроблення математичних моделей найбільш важливих характеристик процесу плоского шліфування торців непереточуваних пластин з прямокутним профілем використовується функція формоутворення.

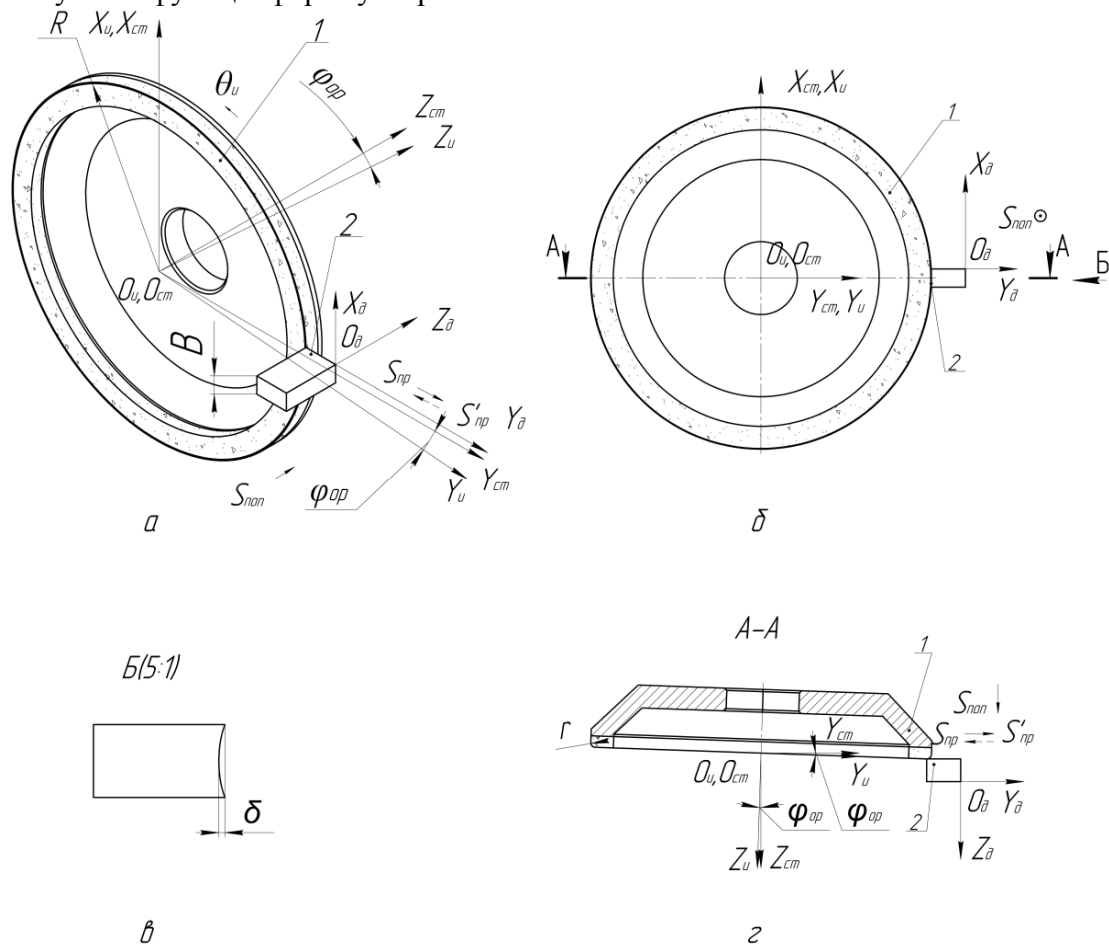


Рис. 1. Розрахункова схема шліфування торців прямокутних непереточуваних пластин:
а, б, г – шліфування торця, в – деталь після обробки

Профіль нового шліфувального круга зображено на рис. 2, а. Після певного часу роботи інструмент зношується (рис. 2, б), знос шліфувального круга залежить від його ширини, кута орієнтації та поперечної подачі деталі.

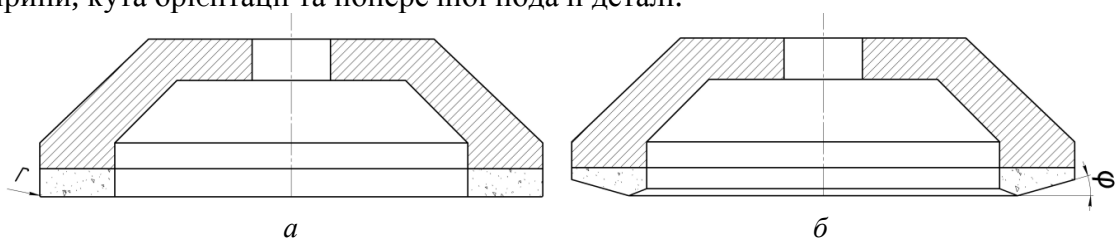


Рис. 2. Профіль шліфувального круга: а – нового, б – зношеного

Інструментальна поверхня нового шліфувального круга описується залежністю у вигляді тора:

$$\overline{r_{shk}}(\theta, \varphi) = M6(\theta) \cdot M2(R - r) \cdot M4(\varphi) \cdot M2(r) \cdot \overline{e4}, \quad (1)$$

де θ – параметр поверхні різального інструменту, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга;

$M1, M2, M3, M4, M5, M6$ – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух вздовж осей координат X, Y, Z і повороти навколо них;

R – радіус шліфувального круга;

r – радіус заокруглення шліфувального круга;

φ – кут, який визначає положення точки на радіусі заокруглення;

$e4 = (0,0,0,1)^T$ – радіус-вектор початку системи координат.

Інструментальна поверхня шліфувального круга після його зношення описується за допомогою функції Хевісайда

$$\begin{aligned} Sh_k(\theta, i) := & M6(\theta) \cdot M2(R - 10) \cdot M3(h1(i)) \cdot M2(l1(i)) \cdot e4 \cdot \Phi(i) \dots \\ & + M6(\theta) \cdot M2(R - 10) \cdot M3(h1(i)) \cdot M2(l1(i)) \cdot e4 \cdot \Phi(i - a) \dots \\ & + M6(\theta) \cdot M2(R - 10) \cdot M3(h2(i)) \cdot M2(l2(i)) \cdot e4 \cdot \Phi(i - a) \dots \\ & + M6(\theta) \cdot M2(R - 10) \cdot M3(h2(i)) \cdot M2(l2(i)) \cdot e4 \cdot \Phi(i - a - b) \dots \\ & + M6(\theta) \cdot M2(R - 10) \cdot M3(h3(i)) \cdot M2(l3(i)) \cdot e4 \cdot \Phi(i - a - b) \dots, \end{aligned} \quad (2)$$

де Φ – функція Хевісайда;

$h1(i), h2(i), h3(i)$ – координати по Z профілю шліфувального круга;

$l1(i), l2(i), l3(i)$ – координати по Y профілю шліфувального круга;

a, b – межі i -ої координати.

Номінальна поверхня непереточуваної пластини описується радіус-вектором шліфувального круга, перенесеного в систему координат деталі з подачею S_{np} і описується рівнянням

$$\begin{aligned} \overline{R_{shk}}(\theta, \varphi, t) = & M2(S \cdot t) \cdot M3((R - r) \cdot \sin \varphi_{op} - r) \cdot M2(-(R - r) \cdot \cos \varphi_{op}) \cdot \\ & M4(-\varphi_{op}) \cdot M6(\theta) \cdot M2(R - r) \cdot M4(\varphi) \cdot M2(r) \cdot \overline{e4}, \end{aligned} \quad (3)$$

де φ_{op} – кут повороту шліфувального круга відносно осі X;

S – подача деталі;

t – параметр часу.

Для визначення оброблюваної поверхні необхідно записати рівняння, яке буде визначати лінію контакту деталі та інструментальної поверхні

$$\overline{V} \cdot \overline{n} = 0, \quad (4)$$

де $\overline{n}$ – одиничний вектор нормалі до інструментальної поверхні;

$\overline{V}$ – вектор швидкості відносного руху інструмента в системі координат деталі.

Нормаль можна знайти як добуток векторів, дотичних до інструментальної поверхні, тобто для знаходження нормалі необхідно диференціювати радіус-вектор деталі за двома незалежними параметрами φ та θ (5), (6). Для знаходження вектора відносної швидкості необхідно радіус-вектор інструментальної поверхні в системі координат деталі диференціювати за параметром часу t (8).

$$\begin{aligned} \overline{Shk\varphi}(t, \theta, \varphi) = & M2(S \cdot t) \cdot M3((R - r) \cdot \sin \varphi_{op} - r) \cdot M2(-(R - r) \cdot \cos \varphi_{op}) \cdot \\ & M4(-\varphi_{op}) \cdot M6(\theta) \cdot M2(R - r) \cdot DM4(\varphi) \cdot M2(r) \cdot \overline{e4}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \overline{Shk\theta}(t, \theta, \varphi) = & M2(S \cdot t) \cdot M3((R - r) \cdot \sin \varphi_{op} - r) \cdot M2(-(R - r) \cdot \cos \varphi_{op}) \cdot \\ & M4(-\varphi_{op}) \cdot DM6(\theta) \cdot M2(R - r) \cdot M4(\varphi) \cdot M2(r) \cdot \overline{e4}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \overline{V}(t, \theta, \varphi) = & S \cdot DM2(S \cdot t) \cdot M3((R - r) \cdot \sin \varphi_{op} - r) \cdot M2(-(R - r) \cdot \cos \varphi_{op}) \cdot \\ & M4(-\varphi_{op}) \cdot M6(\theta) \cdot M2(R - r) \cdot M4(\varphi) \cdot M2(r) \cdot \overline{e4}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $DM4(\varphi), DM6(\theta), DM2(S \cdot t)$ – похідні матриць по параметрам φ, θ, t .

Лінія контакту має вигляд:

$$\begin{aligned} \overline{Lk}(\theta) = & M2(0) \cdot M3((R - r) \cdot \sin \varphi_{op} - r) \cdot M2(-(R - r) \cdot \cos \varphi_{op}) \cdot \\ & M4(-\varphi_{op}) \cdot M6(\theta) \cdot M2(R - r) \cdot M4(\varphi(\theta)) \cdot M2(r) \cdot \overline{e4}, \end{aligned} \quad (8)$$

де $\varphi(\theta)$ – функція залежності кутової φ від θ , яка визначає лінію контакту.

Для визначення положення лінії контакту шліфувального круга з деталлю використовується блок програмного пакета MathCAD:

```

Uθ := | φ ← 90·deg
      | for j ∈ 0..Ni
      |   | θ ← θmin +  $\frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{N_i} \cdot j$ 
      |   | φ ← root(n(0, θ, φ) · V(0, θ, φ), φ)
      |   | M<j+1> ←  $\begin{pmatrix} \theta \\ \phi \end{pmatrix}$ 
      | MT

```

Наведений блок описується залежністю кутової координати $U\theta$ (рис. 3) від координати θ шліфувального круга, де N_i – кількість ділянок, на які ми ділимо лінію контакту; $n(0, u, i)$ – одиничний вектор нормалі до поверхні шліфувального круга; $V(0, u, i)$ – вектор відносної швидкості шліфувального круга.

На рис. 3 зображено графік залежності кутової координати $U\theta$ від координати θ профілю, які визначають положення лінії контакту шліфувального круга з деталлю. На графіку 1 – лінія контакту при розташуванні більшої сторони деталі горизонтально, 2 – вертикально.

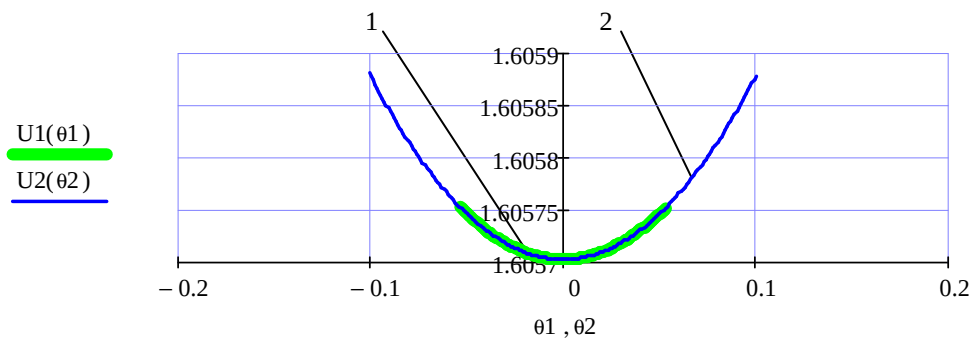


Рис. 3. Графік залежності $U(\theta)$ від θ

При русі лінії контакту утворюється жолоб на поверхні деталі. Для визначення похибки торця перетинаємо оброблену деталь площиною $X_\delta O_\delta Y_\delta$, задаємо значення параметра часу $t=4$, для цього використовуємо блок програмного пакета MathCAD:

```

Δ := | for j ∈ 0..Ni
      |   | θ ← θmin +  $\frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{N_i} \cdot j$ 
      |   | δ ← Det(4, θ)3,1
      |   | T<j+1> ←  $\begin{pmatrix} \theta \\ \delta \end{pmatrix}$ 
      | TT

```

	1	2
1	-0.101	0.013
2	-0.093	0.011
3	-0.085	$9.332 \cdot 10^{-3}$
4	-0.077	$7.64 \cdot 10^{-3}$
5	-0.069	$6.117 \cdot 10^{-3}$
6	-0.061	$4.762 \cdot 10^{-3}$
7	-0.052	$3.577 \cdot 10^{-3}$
8	-0.044	$2.561 \cdot 10^{-3}$
9	-0.036	$1.715 \cdot 10^{-3}$
10	-0.028	$1.037 \cdot 10^{-3}$
11	-0.02	$5.293 \cdot 10^{-4}$
12	-0.012	$1.906 \cdot 10^{-4}$
13	$-4.036 \cdot 10^{-3}$	$2.117 \cdot 10^{-5}$
14	$4.036 \cdot 10^{-3}$	...

Наведений блок описується залежністю похибки δ торця (рис. 4) від координати θ шліфувального круга, де $\theta_{\max}$, $\theta_{\min}$ – кути входу та виходу шліфувального круга з деталі.

На рис. 4 зображено графік залежності похибки торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем від кутової координати θ шліфувального круга. На графіку лінія 1 – похибка при розташуванні більшої сторони деталі горизонтально, лінія 2 – вертикально.

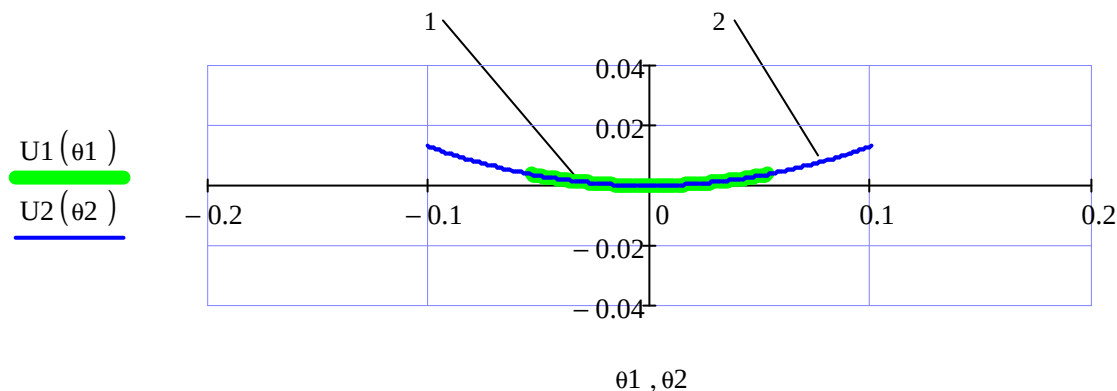


Рис. 4. Графік залежності δ від θ

Як бачимо з графіка (рис. 4), точність непереточуваної пластини з прямокутним профілем буде вище при розташуванні більшої сторони горизонтально.

Графік залежності похибки δ торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем від радіуса інструмента R , при заданих висоті $V=8$ мм та ширині $H=15$ мм деталі, куті орієнтації $\varphi_{op}=2^\circ$, радіусі заокруглення $r=0,5$ мм, зображено на рис. 5.

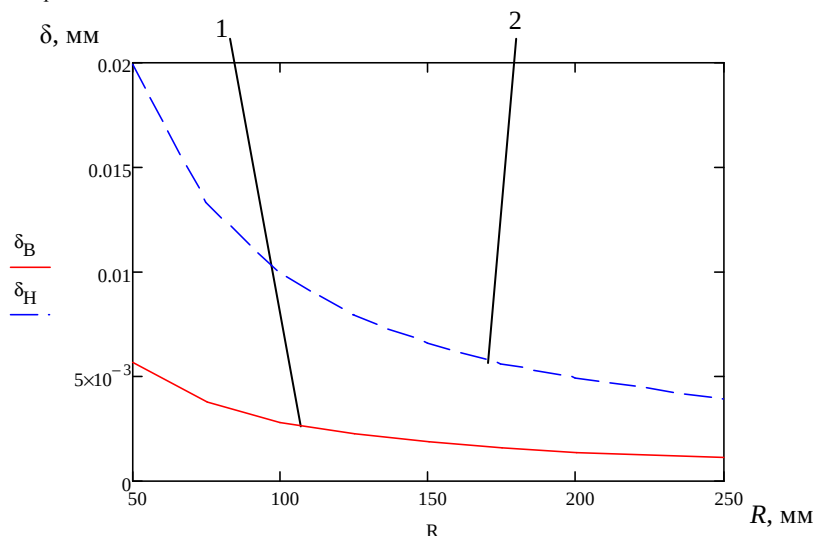


Рис. 5. Графік залежності δ від R

Як видно з графіка (рис. 5), зі збільшенням радіуса шліфувального круга точність торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем збільшується. Точність буде вище при розташуванні більшої сторони непереточуваної пластини з прямокутним профілем горизонтально – лінія 1, менша при розташуванні її вертикально – лінія 2.

Графік залежності похибки торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем від радіуса заокруглення шліфувального круга, при заданих висоті $V=8$ мм та ширині $H=15$ мм деталі, куті орієнтації $\varphi_{op}=2^\circ$, радіусі інструмента $R=75$ мм, зображено на рис. 6.

Як видно з графіка (рис. 6), зі збільшенням радіуса заокруглення шліфувального круга точність торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем зменшується. Точність буде вище при розташуванні більшої сторони непереточуваної пластини з прямокутним профілем горизонтально – лінія 1, менша при розташуванні її вертикально – лінія 2.

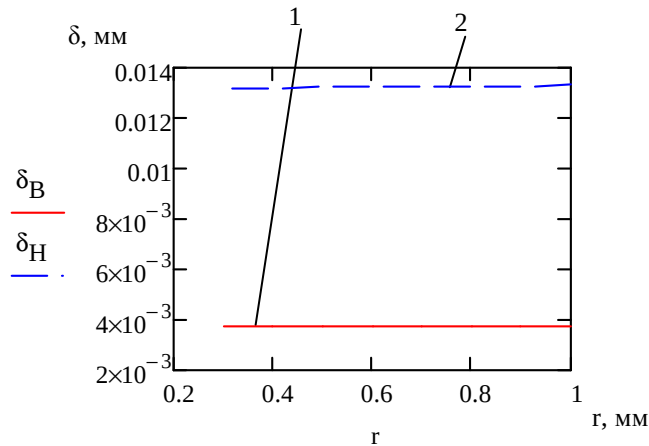


Рис. 6. Графік залежності δ від r

Графік залежності похибки торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем від кута нахилу φ_{op} шліфувального круга, при заданих висоті $B=8$ мм та ширині $H=15$ мм деталі, радіусі інструмента $R=75$ мм, радіусі заокруглення $r=0,5$ мм, зображено на рис. 7.

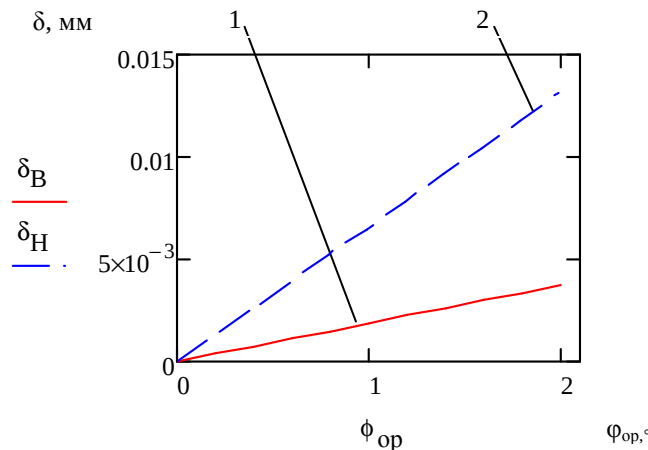


Рис. 7. Графік залежності δ від φ_{op}

Як видно з графіка (рис. 7), зі збільшенням кута орієнтації шліфувального круга точність торця непереточуваної пластини з прямокутним профілем зменшується. Точність буде вища при розташуванні більшої сторони непереточуваної пластини з прямокутним профілем горизонтально – лінія 1, менша при розташуванні її вертикально – лінія 2.

Зі збільшенням радіуса інструмента (рис. 5), зменшенням радіуса заокруглення (рис. 6), зменшенням кута орієнтації (рис. 7) точність торця збільшується.

При обробці непереточуваних пластин з прямокутним профілем кут орієнтації круга, при заданих розмірах та орієнтації деталі та розмірах круга, також можна розрахувати залежно від допустимої похибки δ за формулою:

$$\varphi_{op} = \arcsin \frac{\delta}{(R-r(\delta)) - \sqrt{(R-r(\delta))^2 - \frac{B^2}{4}}}, \quad (9)$$

де B – висота деталі;

$r(\delta)$ – поточний радіус різання шліфувального круга;

δ – похибка.

При заданих: радіусі шліфувального круга $R=75$ мм, та радіусі заокруглення $r=0,5$ мм при кутах нахилу $\varphi_{op} \leq 2^\circ$ $r(\delta)=r$, при $\varphi_{op} > 2^\circ$ $r(\delta) < r$.

Висновки. Вперше запропоновано тримірне геометричне моделювання інструментів та формоутворення при плоскому шліфуванні торця непереточуваної пластини з

прямокутним профілем, яке враховує кут нахилу шліфувального круга φ_{op} у площині, що проходить через його вісь обертання і перпендикулярна до оброблюваної поверхні деталі, який розраховується залежно від потрібної точності.

З аналізу 3D-моделей розроблено новий спосіб плоского шліфування торцевої поверхні прямокутної непереточуваної пластини орієнтованим кругом з надтвердих матеріалів, де у процесі поздовжнього переміщення деталі відносно шліфувального круга, чорновий припуск знімається периферією круга, а чистове шліфування виконується його торцем. Круг повертається на кут, який визначається залежно від потрібної точності і розмірів та орієнтації деталі, розмірів шліфувального круга.

Список використаних джерел

1. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 256 с.
2. Кальченко В. В. Модульне 3D-моделювання формуютьючих систем шліфувальних верстатів, інструментів та оброблюваних поверхонь / В. В. Кальченко // Вісник Тернопільського державного технологічного університету. – 2005. – Т. 12. – С. 68–79.
3. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н. С. Равська, П. Р. Родин, Т. П. Ніколасенко, П. П. Мельничук. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 232 с.
4. Патент RU №2359804 Российская Федерация, МПК B24B7/00. Способ шлифования плоских поверхностей торцом шлифовального круга / Е. А. Балмасова, Е. В. Васильев, А. Ю. Попов, Д. С. Реченко ; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 18.
5. Польшаков В. И. Теоретичні і практичні основи високопродуктивного торцевого шліфування важкооброблюваних матеріалів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Польшаков. – К., 1998. – 27 с.
6. Перепелица Б. А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием / Б. А. Перепелица. – Х. : Вища школа, 1991. – 512 с.
7. Равская Н. С. Основы теории формообразования поверхностей при механической обработке / Н. С. Равская, П. Р. Родин // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 1998. – № 33. – С. 74–82.
8. Решетов Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1996. – 336 с.

УДК 621.923.42

Я.В. Жарий, канд. техн. наук

Г.А. Веремей, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ДЕФЕКТАЦИИ СЕДЕЛ КЛАПАНОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ РЕМОНТЕ

Я.В. Жарий, канд. техн. наук

Г.О. Веремей, старш. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДЕФЕКТАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ СІДЕЛ КЛАПАНІВ У ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОМУ МЕХАНІЗМІ

Yadviga Zhariy, PhD in Technical Sciences

Gennadiy Veremei, senior teacher

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

THE MATHEMATICAL MODEL FOR THE FLAW DETECTING PROCESS OF THE OVERHAULED VALVE-SEAT SURFACES IN THE VALVE TIMING GEAR

Разработана математическая модель, позволяющая определить и описать степень износа рабочих поверхностей седла клапана с целью получения объективных результатов по дефектации для принятия решения о целесообразности проведения восстановительного ремонта и снижения его трудоёмкости.

Ключевые слова: формообразующие параметры, поверхность переменного профиля, интерполяционная схема, трехмерный анализ, двухмерный анализ, численные методы, процесс дефектации.

Розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити та описати ступінь зносу робочих поверхонь сідла клапана з метою отримання об'єктивних результатів з дефектації для прийняття рішення про доцільність виконання ремонту по відновленню і зниженню його трудомісткості.

Ключові слова: *формуєтворючі параметри, поверхня змінного профілю, інтерполяційна схема, тривимірний аналіз, двовірний аналіз, численні методи, процес дефектації.*

The mathematical model to determine and describe the degree of the overhauled valve-seat surfaces' deterioration in the valve timing gear has been proposed. This model was made to obtain the incorrect results for the deterioration to make decision of necessity to carry out the overhaul and decreasing of complexity.

Key words: *the forming parameters, the surface of the variable profile, the interpolated scheme, three-dimensional analysis, two-dimensional analysis, the numerical methods, flaw detection.*

Постановка проблеми. В ремонтном производстве газораспределительных механизмов (ГРМ) головок блоков двигателей обработке изношенных сёдел клапанов предшествует процесс их дефектации с целью выявления степени износа рабочих поверхностей и принятия решения о проведении восстановительного ремонта или выбраковывании подлежащих восстановлению сёдел. Важность задачи по получению объективных результатов дефектации сёдел клапанов обусловлена увеличением трудоёмкости восстановительного ремонта в случае ошибочно поставленного диагноза (особенно, если износ поверхностей неравномерный и имеет нестандартные локальные области в результате прогара или критического износа). Ошибочность таких результатов приводит к необходимости введения дополнительных операций по выпрессовке изношенного и запрессовке нового седла в головке блока двигателя, что увеличивает трудоёмкость восстановительного ремонта в несколько раз и является экономически неэффективным.

На основании вышеизложенного вопрос проведения объективно-оптимальной дефектации с точки зрения оценки степени износа рабочих поверхностей сёдел клапанов является достаточно актуальным.

Анализ исследований и публикаций. Исследования информационных источников [2; 3; 9] показывают, что на сегодня в данной области ремонтного производства ГРМ не обнаружено совершенных методов и математических моделей геометризации изношенных внутренних конических поверхностей со сложной топографией, которые позволяют описать степень их износа.

Как показывают практические исследования, наиболее распространёнными в ремонтном производстве являются органолептические методы определения степени износа сёдел, однако они малоэффективны, поскольку дают необъективную оценку истинному состоянию изношенных деталей.

Цель статьи. Разработать математическую модель, позволяющую определить и описать степень износа рабочих поверхностей седла клапана с целью получения объективных результатов по дефектации для принятия решения о целесообразности восстановительного ремонта и снижения его трудоёмкости.

Изложение основного материала. Как показывают исследования отечественных и зарубежных источников информации, наиболее распространёнными техническими откатами при работе автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются дефекты головок блока цилиндров, связанные с износом клапанных сёдел (по статистике – до 83 % отечественных и до 64 % зарубежных) [9].

В восстановительном ремонте клапанных сёдел конечной важнейшей задачей является обеспечение герметичности сопряжения «клапан-седло» за счёт их правильной геометрии поверхностей контакта. Это требует принятия решения о целесообразности проведения такого ремонта путём определения «неправильной геометрии» рабочих поверхностей клапана поверхности в процессе дефектации. При этом цель дефектации – оценить объективное техническое состояние детали с последующим её включением в группу деталей, пригодных для ремонта, или исключением из неё.

Традиционно в процессе дефектации изношенных сёдел, используемые органолептические методы, как показывают практические исследования, носят субъективный ха-

рактер и не позволяют сделать окончательный вывод о состоянии детали. Определить степень износа сёдел клапанов, а также возможность их восстановительного ремонта для дальнейшего применения в ГРМ автомобиля позволяет контрольный этап процесса дефектации посредством:

- снятия внутренних размеров каждого седла с помощью профилометра [6; 8];
- описания геометрической формы рабочих поверхностей детали с использованием математической модели;
- расчета отклонений фактических показателей от предельно допустимых размеров седла, пригодного для использования.

Полученные и обработанные профилограммы используются для оценки геометрических параметров поверхностей в виде макро- и микронеровностей разными методами [4; 7; 10].

В данной задаче макроотклонения не представляют интерес и для выбора методов распознавания степени износа седла клапана будет рассматриваться топография поверхности с точки зрения микрогеометрии.

За основные микрогеометрические параметры поверхности, характеризующие ее качества, принимаем шероховатость и волнистость с условной границей различия между ними в зависимости от используемой базовой длины L .

Поскольку в данной задаче математически неровности изношенного седла клапана можно считать волнистостью, для исследования особенностей геометрии рассматриваемой поверхности будем использовать профилограммы с применением методов 2D- и 3D-моделирования. При двухмерном моделировании рассмотрим продольные и поперечные профили.

Продольный профиль – это сечение поверхности вертикальной плоскостью, проходящей через ось седла клапана с ориентацией в заданном направлении. Тогда основными стандартными параметрами волнистости профиля, которые целесообразно использовать в процессе дефектации клапанного седла, являются следующие [7; 11].

1. Наибольший размах профиля W_z (расстояние между линией выступов и линией впадин) может определяться по десяти точкам:

$$W_z = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |h_{\max}| + \sum_{i=1}^5 |h_{\min}| \right] \quad (1)$$

или по формуле:

$$W_z = W_p + W_v,$$

где W_p – наивысшая вершина профиля; W_v – глубочайшая впадина профиля.

При этом линией выступов профиля принято называть линию, эквидистантную средней линии и проходящую через высшую точку профиля в пределах базовой длины L . Линию, эквидистантную средней линии профиля и проходящую через низшую точку профиля в пределах базовой длины, называют линией впадин профиля.

2. Тотальная высота профиля – это разность максимальной и минимальной абсолютной высоты профиля на протяжении всей длины трассы T :

$$W_t = \max_{x \in T} (h(x)) - \min_{x \in T} (h(x)). \quad (2)$$

3. Среднеарифметическое отклонение волнистого профиля в абсолютных значениях в пределах базовой длины L вычисляется:

$$W_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_i - h_{cp}|, \quad (3)$$

где n – число выбранных точек на базовой длине;

$|h_i - h_{cp}|$ – отклонение профиля, определяющее расстояние между точкой реального профиля и средней линией профиля. Средняя линия профиля – это базовая линия, де-

лящая реальный профиль так, что в пределах базовой длины сумма квадратов отклонений профиля от этой линии минимальна.

4. Среднеквадратическое отклонение профиля в пределах базовой длины L :

$$W_q = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (h_i - h_{cp})^2}. \quad (4)$$

Могут быть рассмотрены и другие шаговые и гибридные параметры профиля, однако в процессе дефектации изношенного седла потребности в этом нет. Основными параметрами, необходимыми для оценки степени износа седла клапана, являются параметры наибольших впадин для каждой фаски W_{Amin} , W_{Bmin} , W_{Cmin} (как наиболее интенсивные гармоники в процессе износа).

При этом данные параметры необходимо настроить не на среднюю линию профиля, полученного после обработки профилограммы, а на номинальную линию – каркас номинального (допустимого) седла (в виде проекций образующих внутренних конических поверхностей) (рис. 1). Для этого при расчете приведенных выше параметров, особенно при установке базовой длины, необходимо настраивать L на размеры (абсциссы) фасок L_A, L_B, L_C с тем, чтобы ординаты наибольших впадин в системе координат XOH вычислять для каждой фаски:

$$W_{Amin} = \min_{x \in L_A} (h(x)), \quad W_{Bmin} = \min_{x \in L_B} (h(x)), \quad W_{Cmin} = \min_{x \in L_C} (h(x)) \quad (5)$$

с обязательной фиксацией абсцисс в этих точках (x_A, x_B, x_C).

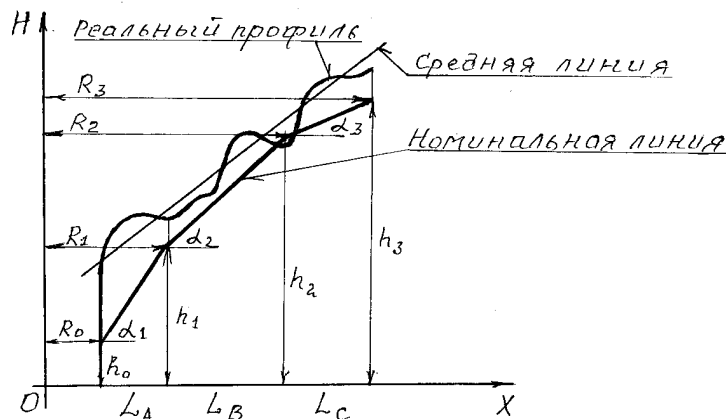


Рис. 1. Продольный профиль изношенного седла клапана

Тогда для заданных размеров номинального (допустимого) седла h_0, R_0, R_1, R_2, R_3 и углов наклона образующих конических поверхностей $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ относительно оси OX можно построить уравнения трех прямых допустимого каркаса седла в общем виде $h = h(x)$:

- для фаски А – $h(x) = h_0 + (x - R_0) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1)$,
- для фаски В – $h(x) = h_0 + (R_1 - R_0) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1) + (x - R_1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2)$,
- для фаски С – $h(x) = h_0 + (R_1 - R_0) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1) + (R_2 - R_1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2) + (x - R_2) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_3)$.

Подставляя абсциссы x_A, x_B, x_C наибольших впадин профиля в уравнения (6), получаем значения $h_A = h(x_A)$, $h_B = h(x_B)$, $h_C = h(x_C)$, как критерии, для сравнения их со значениями с профиля W_{Amin} , W_{Bmin} , W_{Cmin} .

Если хотя бы для одной из фасок седла (особенно В) выполняется условие:

$$W_{Amin} < h_A, \quad W_{Bmin} < h_B, \quad W_{Cmin} < h_C, \quad (7)$$

седло считается изношенным и принимается решение о нецелесообразности его ремонта.

Если условие (7) не выполняется на рассматриваемом профиле, для более полного заключения об износе седла клапана обрабатывается множество профилограмм. Чтобы выбрать оптимальное их количество, необходимо делать правильный подбор ориентации продольных профилей, возможно даже с использованием методов неразрушающего контроля материалов (например, пенетрации).

Если по высоте износа седло пригодно для ремонта, в процессе дефектации необходимо исследовать и «ширину» износа с использованием, например, круглограмм. Тогда второй этап 2D-анализа поперечного профиля седла клапана позволяет рассчитать возможный радиальный износ его фасок.

Для численного анализа степени отклонения от некруглости фасок изношенной детали могут быть использованы методы нелинейной регрессии [5] с расчетом отклонений всех точек кривой поперечного профиля (кругового сечения) от номинальной окружности.

Однако в процессе дефектации для распознавания радиального износа седла достаточно исследовать только максимальные отклонения радиусов изношенных фасок от предельно допустимых радиусов. Поэтому предлагается использовать фрагментарный подход [1] – построением вспомогательных описанных окружностей.

Путем перебора или с помощью функций [5] на профильной кривой выбираются три точки, максимально удаленные от центра $O(x_0, y_0)$ и лежащие в разных квадрантах системы координат XOY (рис. 2). Строится внешняя описанная окружность, для вычисления радиуса $R_{k\max}$ которой можно использовать теоремы синусов и косинусов [1] для треугольника, составленного из выбранных точек $A_1(x_1, y_1)$, $A_2(x_2, y_2)$, $A_3(x_3, y_3)$. Тогда максимальный радиус износа можно рассчитать по формулам:

$$R_{k\max} = \frac{a_3}{\sqrt{1 - \cos^2(\gamma)}}, \quad \cos(\gamma) = \frac{a_1^2 + a_2^2 - a_3^2}{2ab}, \quad (8)$$

где $a_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$; $a_2 = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2}$; $a_3 = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}$.

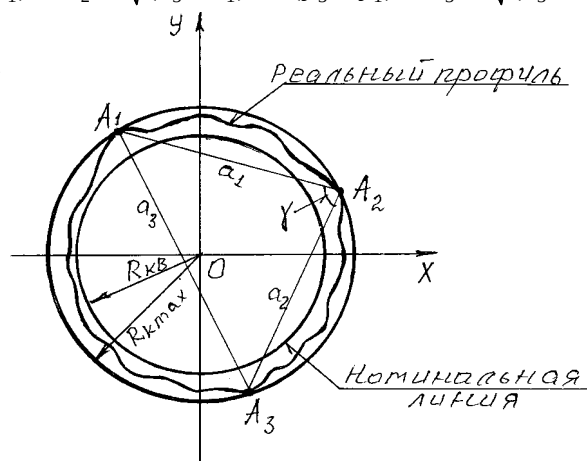


Рис. 2. Поперечный профиль изношенного седла клапана

Далее необходимо определить, какой из фасок (А, В, С) принадлежит обрабатываемая круглограмма (уровня h_k) в единой с профилем системе координат XOY :

- фаске А, если $h_0 \leq h_{kA} \leq h_1$, где $h_1 = h_0 + (R_1 - R_0) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1)$,
- фаске В, если $h_1 < h_{kB} \leq h_2$, где $h_2 = h_1 + (R_2 - R_1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2)$,
- фаске С, если $h_2 < h_{kC} \leq h_3$, где $h_3 = h_2 + (R_3 - R_2) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_3)$.

Тогда с учетом формул (9) можно определить номинальный (допустимый) радиус износа конической поверхности седла для уровня h_k :

$$\begin{aligned} & \text{– для фаски А} \quad R_{kA} = R_0 + (h_{kA} - h_0) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_1), \\ & \text{– для фаски В} \quad R_{kB} = R_1 + (h_{kB} - h_1) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_2), \\ & \text{– для фаски С} \quad R_{kC} = R_2 + (h_{kC} - h_2) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_3). \end{aligned} \quad (10)$$

Используя для текущей обрабатываемой профильной кривой номинальный (допустимый) радиус для соответствующей фаски (R_{kA}, R_{kB}, R_{kC}), сравниваем его с $R_{k\max}$ – максимальным радиусом профильной кривой. Если $R_{k\max}$ больше номинального радиуса, то делаем выводы о целесообразности ремонта седла (особенно для фаски В).

Как и в случае с продольными профилями, для более полного заключения об износе седла клапана необходима оцифровка множества круглограмм с избавлением от случайных шумов и последующей обработкой в вычислительной среде.

Возможны ситуации, когда чрезмерный радиальный износ седла клапана может быть скорректирован за счет умеренного «глубинного» износа посредством ремонта детали, что требует перехода на единую систему координат и 3D-моделирование с помощью вычислительных средств.

При этом большинство программных средств для численного трехмерного анализа требуют равномерной прямоугольной сети точек x_i, y_j ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$) с покомпонентной их увязкой с третьей координатой. В данном случае массив исходных данных после оцифровки профилограмм не может быть получен с равномерным шагом по осям OX и OY , поскольку при исследовании тел вращения целесообразнее использовать продольные профили, проходящие через ось OZ .

Поэтому в задаче дефектации сложной топографии седла клапана лучше рассмотреть 3D-модель в аналитической форме в виде обобщенного полинома [1], который является универсальным для дальнейшего численного или графического анализа:

$$z = Q(x, y) = \sum_{k=1}^n c_k \cdot \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}, \quad (11)$$

где x_k, y_k ($k = 1, \dots, n$) – система точек, полученных путем оцифровки профилограмм с любым шагом, необходимым для учета неровностей обрабатываемой поверхности;

$c_1, c_2, \dots, c_n$ – коэффициенты, определяемые из системы линейных уравнений с помощью функций системы MathCAD [5].

Пространственную модель (11) с помощью компьютерных средств удобно использовать для анализа степени износа рабочих поверхностей седла, особенно для распознавания участков максимального износа. Для этого исследуются экстремумы (минимумы) 3D-модели поверхности для каждой из фасок (A, B, C) по произвольным (или заданным пользователем) точкам с применением функций MathCAD:

$$\begin{aligned} Q_A &= \min[Q(x_i, y_i)], \quad i = 1, \dots, m_A, (x_i, y_i) \in S_A, \\ Q_B &= \min[Q(x_i, y_i)], \quad i = 1, \dots, m_B, (x_i, y_i) \in S_B, \\ Q_C &= \min[Q(x_i, y_i)], \quad i = 1, \dots, m_C, (x_i, y_i) \in S_C, \end{aligned} \quad (12)$$

где S_A, S_B, S_C – горизонтальные проекции конических поверхностей фасок.

На найденных точках минимумов $(x_A, y_A), (x_B, y_B), (x_C, y_C)$ модели поверхности для каждой фаски могут быть вычислены значения номинальной (допустимой) поверхности, исходя из общего уравнения прямого кругового конуса:

$$Z_A = p_A \cdot \sqrt{x_A^2 + y_A^2}, Z_B = p_B \cdot \sqrt{x_B^2 + y_B^2}, Z_C = p_C \cdot \sqrt{x_C^2 + y_C^2}, \quad (13)$$

где p_A, p_B, p_C – параметры, определяемые для предельного размера каждой из фасок седла клапана с учетом высот h_0, h_1, h_2, h_3 (рис. 1):

$$p_A = \frac{(R_1 - R_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{R_1}, p_B = \frac{(R_2 - R_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}{R_1}, p_C = \frac{(R_3 - R_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3}{R_2}. \quad (14)$$

Тогда решение о выбраковывании седла, как невосстанавливаемого, может быть принято при обнаружении более глубоких, чем Z_A, Z_B, Z_C , впадин на исходной поверхности хотя бы для одной из фасок седла (A, B, C), т. е. когда $Q_A < Z_A$, или $Q_B < Z_B$, или $Q_C < Z_C$.

Рассмотренные методы 2D- и 3D-моделирования с вычислительной точки зрения могут быть применены в процессе дефектации изношенного седла клапана, однако степень адекватности полученного результата зависит от многих факторов, особенно связанных с позиционированием и наполнением модели цифровой информацией.

С одной стороны, сама исследуемая деталь имеет сложную пространственную форму, которую с высокой точностью описать непросто (особенно по дискретным 2D-моделям), и доступ к которой для снятия показаний ограничен. С другой стороны, измерительные приборы должны быть особыми – с высокой степенью синхронизации сканирования, снятием помех и шумов, точностью оцифровки продольных и поперечных профилей и их координатной увязки.

Наиболее полную и достоверную информацию о реальной геометрии детали можно получить с помощью 3D-КИМ (координатно-измерительных машин) [7], позволяющих строить собственные системы координат номинальных поверхностей для построения их 3D-моделей, что дает возможность с высокой точностью определять отклонения реального элемента поверхности от одноименного номинального элемента.

С использованием других измерительных приборов (профилометров, кругломеров) построить достоверную модель топографической поверхности практически невозможно. Профилограммы (круглограммы) после оцифровки могут передаваться в среду трехмерного моделирования для создания базовой модели поверхности. Но для того, чтобы такая модель была адекватной реальной поверхности, необходимо увязать системы координат продольных и поперечных профилей и параметризовать модель, что является непростой задачей.

Поскольку профили поверхности, снятые при помощи профилометров, включают в себя множество шумов и погрешностей, их необходимо удалить. Этот процесс фильтрации трудоемкий, так как удаление шумов рекомендуется делать для каждого профиля отдельно. При этом целесообразно использовать прямые и обратные преобразования Фурье профилей с последующей фильтрацией (исключая самую низкую по амплитуде гармонику и получить профиль без погрешности установки), что позволяет без учета случайных ошибок анализировать все виды неровностей и отклонений реальной поверхности.

Выводы. Предложенные в данной работе математические методы и модель позволяют в процессе дефектации распознать износ рабочих поверхностей седла клапана для принятия решения о допустимости восстановительного ремонта или выбраковывании седла.

Чтобы с высокой точностью оценить степень износа поверхности седла и получить объективные результаты, необходимо обеспечить адекватный измерительный процесс.

При проведении измерений сложной топографической поверхности (особенно 2D-приборами) практически невозможно добиться абсолютного совпадения систем координат и избавиться от дополнительных погрешностей. Возникающие погрешности в

измерениях и в результатах обработки возможно минимизировать только с применением 3D-КИМ и 3D-моделей.

Список использованных источников

1. *Веремей Г. А.* Математическое моделирование формообразования восстанавливаемых поверхностей седла клапана в газораспределительном механизме / Г. А. Веремей // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки" : наук. зб. – 2014. – № 1(71). – С. 127–134.
2. *Дефектація деталей автомобіля* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.irsautoyoucar.ru/car_dismantlin/142.html.
3. *Дефектація деталей и сопряжений* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mehanik-ua.ru/lektzii-rmo/109-defektatsiya-detalej-i-sopryazhenij.html>.
4. *Дунин-Барковский И. В.* Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / И. В. Дунин-Барковский, А. Н. Карташова. – М. : Машиностроение, 1978. – 232 с.
5. *Дьяконов В.* MATHCAD 8/2000 : специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2000. – 592 с.
6. *Кашуба Л. А.* Геометрия реальных поверхностей деталей изделий машиностроения / Л. А. Кашуба, Д. М. Жук, В. Б. Маничев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – № 2. – С. 72–79.
7. *Порошин В. В.* Основы комплексного контроля топографии поверхности деталей : монография / В. В. Порошин. – М., 2007. – 196 с.
8. *Профилометры* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.geo-ndt.ru/catalog-25-izmeriteli-sherohovatosti-profilometri-profilemeri.htm>.
9. *Ремонт головки блока цилиндров* – профессионально и доступно [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.motortehn.ru/News/Message/ORR1PYA.html>.
10. *Хусу А. П.* Шероховатость поверхности (теоретико-вероятностный подход) / А. П. Хусу, Ю. Р. Витгенберг, В. А. Пальмов. – М. : Наука, 1975. – 438 с.
11. *International ISO Standard 4287* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ebookspdfs.org/download/iso-4287>.

УДК 620.179:534.6

О.П. Космач, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПОДІЛУ МОДЕЛЬНИХ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ЗМІНІ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ВУЗЛА ТЕРТЯ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

А.П. Космач, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ УЗЛА ТРЕНИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Oleksandr Kosmach, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF DISTRIBUTION OF MODEL ACOUSTIC EMISSION SIGNALS AT CHANGES OF ROTATIONAL SPEED OF FRICTION UNIT OF COMPOSITE MATERIALS

Проведено моделювання результуючих сигналів акустичної емісії при зміні швидкості обертання вузла тертя із композиційних матеріалів. Проведено оброблення модельних сигналів акустичної емісії з визначенням статистичних моментів третього та четвертого порядків для кожного прийнятого значення швидкості обертання пари тертя із композиційних матеріалів. Показано, що у разі збільшення швидкості обертання вузла тертя із композиційних матеріалів відбувається зростання значень статистичних моментів третього та четвертого порядків як амплітуди, так і енергії сигналу акустичної емісії на стадії нормального зношування поверхонь вузла тертя. При цьому найбільший приріст значень статистичних моментів третього та четвертого порядків спостерігається для кое-

фіцієнта ексцесу енергії результуючих сигналів акустичної емісії, а найменший приріст відповідає коефіцієнту ексцесу амплітуди результуючих сигналів акустичної емісії.

Ключові слова: акустична емісія, амплітуда, аналіз, асиметрія, енергія, коефіцієнт, композиційний матеріал, обертання, приріст, статистичний момент, швидкість.

Проведено моделювання результуючих сигналів акустической емісії при изменении скорости вращения узла трения из композиционных материалов. Проведена обработка модельных сигналов акустической емісії с определением статистических моментов третьего и четвертого порядков для каждого принятого значения скорости вращения пары трения из композиционных материалов. Показано, что при увеличении скорости вращения узла трения из композиционных материалов происходит рост значений статистических моментов третьего и четвертого порядков как амплитуды, так и энергии сигнала акустической емісії на стадии нормального износа поверхностей узла трения. При этом наибольший прирост значений статистических моментов третьего и четвертого порядков наблюдается для коэффициента эксцесса энергии результующих сигналов акустической емісії, а наименьший прирост соответствует коэффициенту эксцесса амплитуды результующих сигналов акустической емісії.

Ключевые слова: акустическая емісія, амплитуда, анализ, асимметрия, энергия, коэффициент, композиционный материал, прирост, статистический момент, скорость.

The simulation results of acoustic emission signals at change of rotational speed of friction unit of composite materials were conducted. Were carried out the processing of model acoustic emission signals with definition of statistical moments of the third and fourth order for each assumed value of rotational speed of friction unit of composite materials. It was shown that by increasing of rotational speed of friction unit of composite materials occurs growth of statistical moments of third and fourth orders values of amplitude and energy of the acoustic emission signal at stage of normal wear of friction surfaces of unit. The greatest increase in values of statistical moments of third and fourth order values was observed for coefficient of energy kurtosis of resultant acoustic emission signals, and the smallest increase corresponds to amplitude of coefficient of kurtosis of resultant acoustic emission signals.

Key words: acoustic emission, amplitude, analysis, asymmetry, energy, coefficient, composite material, increase, statistical moment, speed.

Постановка проблеми. Використання композиційних матеріалів (КМ) у різних галузях виробництва та транспорту дозволяє суттєво підвищити довговічність рухомих з'єднань машин за рахунок створення зносостійких покриттів на поверхнях основних матеріалів. При цьому варіація фізико-механічних властивостей КМ дозволяє адаптувати їх до екстремальних умов роботи рухомих з'єднань, що є надзвичайно актуальним з погляду терміну експлуатації та утилізації машини.

Основні напрямки наукових досліджень з використанням КМ пов'язані саме з оптимізацією вибору марок та типів КМ, оптимізацією режимів роботи самого вузла тертя, дослідження мікроструктурних перетворень, які утворюються в поверхневих шарах КМ, виявлення та ідентифікація мікро- та макродефектів поверхонь фрикційного контакту та ін. Водночас з цим у процесі використання таких матеріалів виникає необхідність у достовірному визначенні та виявленні мікро- та макропроцесів, які призводять до утворення необоротних змін або катастрофічного руйнування поверхневих шарів КМ.

З цією метою використовуються традиційні методи контролю вузлів тертя поверхонь із КМ, які ґрунтуються на аналізі механічних показників, наприклад, коефіцієнта тертя, температури, втрат потужності тощо. Проте слід зазначити, що група цих методів дозволяє визначити лише макропроцеси катастрофічного зношування поверхонь, що значно збільшує часові та фінансові витрати, які пов'язані з подальшими ремонтними та відновлювальними роботами вузла тертя із КМ. Тому з позиції контролю та діагностики поверхневих шарів вузлів тертя із КМ ключовим завданням є фіксація саме мікропроцесів, які формуються та протікають на поверхнях фрикційного контакту і є початковими етапами зародження необоротних мікроструктурних процесів руйнування поверхневих шарів із КМ. Слід також відзначити, що таке дослідження процесів тертя та зношування КМ у першу чергу повинно ґрунтуватися на використанні високочутливих методів, які дозволяють отримати великі об'єми інформації про процеси контактної взаємодії поверхонь фрикційного контакту.

Останніми роками під час дослідження процесів взаємодії поверхневих шарів фрикційного контакту з традиційних матеріалів та КМ використовуються методи неруйнівного контролю, які мають високу чутливість до мікропроцесів, що постійно змінюються та розвиваються. До таких методів відносять вихрострумний метод, вібраційний

метод, методи вимірювання трибоелектрорушійної сили та опору провідності, а також метод акустичної емісії (АЕ). До основних переваг методу АЕ можна віднести його високу чутливість до процесів контактної взаємодії поверхонь, які протікають на мікrorівні; відсутність впливу власних вібрацій елементів вузла тертя на параметри формованого сигналу; інформування в режимі реального часу; інтегральність та висока проникаюча здатність; можливість автоматизації, а також безпечність.

Низька інерційність та висока чутливість методу АЕ потребує встановлення залежностей між параметрами акустичного випромінювання та характеристиками процесів, які формуються під час тертя поверхонь із КМ. Розв'язання цієї задачі повинно ґрунтуватися, у першу чергу, на результатах теоретичних досліджень на основі моделювання акустичного випромінювання з залученням статистичних методів та методів обробки сигналів. Такі дослідження дозволяють провести інтерпретацію акустичного випромінювання, визначити залежності параметрів акустичного випромінювання при дії різних факторів. Комплекс теоретичних досліджень є основою при удосконаленні методів АЕ контролю та діагностики вузлів тертя із КМ.

Результати багатьох досліджень показують, що експлуатаційні показники вузла тертя, зокрема, швидкість обертання вузла тертя є одним з факторів, який впливає на динаміку процесу тертя та зношування, а отже, як результат, і на формований сигнал АЕ, а також його основні параметри. При цьому найчастіше аналізується середній рівень та величина розкиду формованого сигналу АЕ, тобто визначаються статистичні моменти першого та другого порядків. Слід зазначити, що статистичні моменти вищих порядків також несуть у собі інформацію про процеси, які формуються та протікають у поверхневих шарах вузла тертя із КМ. Дослідження таких параметрів сигналів АЕ практично не проводилися в науковій літературі.

З урахуванням вищевикладеного, а також з метою подальшого розвитку методу АЕ в контролі та діагностуванні вузлів тертя із КМ, актуальним напрямком досліджень є аналіз статистичних моментів третього та четвертого порядків модельних результуючих сигналів АЕ, які формуються при зміні швидкості обертання вузла тертя із КМ на стадії його нормального зношування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метод АЕ знаходить своє використання під час дослідження процесів контактної взаємодії поверхонь матеріалів з кристалічною структурою та КМ [1–3]. Результати досліджень показують, що формовані сигнали АЕ мають складний характер зміни на різних стадіях взаємодії поверхонь фрикційного контакту. Така видозміна акустичного випромінювання свідчить у першу чергу про низьку інерційність методу та його високу чутливість до мікропроцесів, які протікають у поверхневих шарах матеріалів. Однак при цьому на сьогодні інтерпретація цих процесів є ключовою проблемою, яка обмежує використання методу АЕ в діагностуванні фрикційних вузлів з як традиційних матеріалів, так і КМ. При цьому завдання ускладнюється через великі обсяги теоретичних та експериментальних досліджень, а також специфіку експериментального обладнання. Завдання інтерпретації акустичного випромінювання знаходять свої часткові вирішення завдяки розробленню стохастичних моделей сигналів АЕ, проте визначення об'єктивно наявних зв'язків між параметрами акустичного випромінювання та фізичними процесами, які протікають у поверхневих шарах фрикційного контакту, такі моделі не дозволяють отримати.

У працях [4–6] були розглянуті результати моделювання результуючих сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ, яка враховує імпульсний характер формування сигналу АЕ з окремих джерел та неперервну послідовну зміну елементарних площадок контактної взаємодії поверхонь фрикційного контакту, який має визначені фізико-механічні характеристики та розміри. При цьому результуючий сигнал АЕ [7]

представляється як сума імпульсних сигналів АЕ, які формуються на окремих елементарних площадках контактної взаємодії у вигляді виразу виду

$$U_p(t) = \sum_{j=1} U_j(t - t_j) = U_1(t - 1 \cdot \Delta t_1 - \delta_1) + U_2(t - 2 \cdot \Delta t_2 - \delta_2) + \dots + U_m(t - m \cdot \Delta t_m - \delta_m), \quad (1)$$

де j – порядковий номер площадки контактної взаємодії ($j = 1, 2, 3, \dots, m$); $U_j(t_j)$ – j -ий імпульсний сигнал АЕ, який формується на j -ій площадці контактної взаємодії; t_j – момент часу появи j -го сигналу АЕ; m – загальна кількість імпульсних сигналів АЕ, які формуються за визначений період роботи вузла тертя згідно з прийнятим планом випробування, Δt_m – інтервал часу між початком появи наступного та попереднього імпульсного сигналу АЕ; δ – випадкова складова в момент часу появи кожного наступного сигналу АЕ.

Моменти часу t_j появи окремих j -их імпульсних сигналів АЕ у виразі (1) можна представити у вигляді суми стаціонарної та випадкової складових процесу. При цьому стаціонарна складова Δt_j залежить від розмірів елементів КМ, а також розмірів елементарної площадки контактної взаємодії. У свою чергу випадкова складова δ в момент появи імпульсного сигналу АЕ обумовлена варіацією властивостей елементів КМ, а також нестабільністю положення площадки контактної взаємодії в загальній площі перекриття поверхонь.

Вихідними даними для моделювання результуючих сигналів АЕ, згідно з виразом (1), є наступне. Вузол тертя являє собою фрикційний контакт двох елементів, один з яких здійснює переміщення або обертання відносно іншого на визначеному часовому проміжку. Площадка контактної взаємодії являє собою деяку малу та змінну в часі площу перекриття поверхонь, яка рівномірно заповнена виступами та впадинами в загальній площі контактної взаємодії.

При зміні відносного розташування поверхонь фрикційного контакту в межах визначеної площадки контактної взаємодії відповідно до розробленої імпульсної моделі сигналу АЕ [8] відбувається руйнування деякої визначеної кількості N_0 елементів КМ під дією постійної поперечної сили, яка викликана відносним переміщенням поверхонь фрикційного контакту. При цьому елементи КМ мають визначені фізико-механічні характеристики та розміри.

Зміна положення площадки контактної взаємодії в часі забезпечується відповідною швидкістю обертання вузла тертя, а характер фрикційної взаємодії поверхонь визначається відповідною швидкістю прикладення навантаження. Задана швидкість обертання та величина прикладеного навантаження до вузла тертя, з урахуванням характеристик елементів КМ, визначають закономірність зміни еквівалентних напружень та порогового напруження початку руйнування в часі при початку руйнування елементів КМ.

Згідно з рівнянням (1), з урахуванням [8], можна провести моделювання амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ, які формуються в умовах тертя поверхонь із КМ при зміні швидкості їх відносного переміщення з метою визначення закономірностей зміни статистичних моментів третього та четвертого порядків.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У сучасних дослідженнях сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь як традиційних, так і КМ, частіше всього аналізуються статистичні моменти першого та другого порядків. Проте слід зазначити, що статистичні моменти вищих порядків сигналів АЕ можуть бути характеристиками мікропроцесів, які протікають під час тертя поверхонь із КМ. Тому визначення закономірностей зміни статистичних моментів вищих порядків результуючих сигналів АЕ при зміні швидкості обертання вузла тертя із КМ є актуальним напрямком наукових досліджень.

Формулювання мети статті. У роботі буде проведено аналіз закономірностей зміни статистичних моментів третього та четвертого порядків амплітуди та енергії модельних результуючих сигналів АЕ, які формуються при різних швидкостях обертання вузла тертя із КМ. Буде показано, що зростання швидкості обертання вузла тертя приводить до зростання значень статистичних моментів третього та четвертого порядків амплітуди та енергії результуючих сигналів акустичної емісії. При цьому найбільший приріст значень статистичних моментів третього та четвертого порядків буде спостерігатися в енергії результуючих сигналів АЕ, а найменший приріст буде відповідати коефіцієнту ексцесу амплітуди результуючого сигналу АЕ.

Виклад основного матеріалу. Результати експериментальних досліджень показують, що зміна швидкості обертання вузла тертя із КМ призводить до зміни поверхневих контактних напружень, процесів їх мікроруйнування, а також похідних показників. Для навантажених поверхонь фрикційного контакту із КМ це означає, що при збільшенні кінетичної сили, внаслідок зростання швидкості обертання вузла тертя, відбувається зростання локальної швидкості зміни еквівалентних напружень.

У цій роботі було проведено аналіз статистичних моментів вищих порядків амплітуди та енергії результуючого сигналу АЕ при зростанні швидкості обертання вузла тертя із КМ за умови постійності дії величини прикладеного навантаження, а також постійності фізико-механічних характеристик матеріалів та лінійних розмірів одиничних елементів.

Дослідження статистичних моментів вищих порядків амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ, полягало в наступному. Спочатку було проведено моделювання чотирьох результуючих сигналів АЕ на стадії нормального зношування поверхонь тертя із КМ при різних значеннях швидкості обертання вузла тертя. Обсяг вибірки для всіх досліджуваних сигналів АЕ був однаковою та становив 800 значень. Після цього було проведено моделювання миттєвої енергії

результуючого сигналу АЕ згідно з виразом $E_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |U(t)|^2 dt$. На наступному етапі

проводилось оброблення отриманих значень амплітуд та енергій результуючих сигналів АЕ, що полягало у визначенні статистичних моментів третього та четвертого порядків відповідно до загальноприйнятих виразів [9]. При цьому обсяг вибірок для кожного модельного сигналу АЕ становив 40 значень. Таким чином, у ході дослідження кожної швидкості обертання вузла тертя із КМ був визначений груповий діапазон, який складався з 20 вибірок. Після цього проводилося усереднення значень вибірок з визначенням рівня параметра сигналу для кожного значення швидкості обертання вузла тертя із КМ. Подальшим етапом досліджень було визначення закономірностей зміни статистичних моментів третього та четвертого порядків амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ залежно від швидкості обертання вузла тертя із КМ.

Результати попередніх досліджень показують, що при збільшенні швидкості обертання вузла тертя із КМ [10] відбувається зменшення тривалості формованого імпульсного сигналу АЕ, а також зменшення значення випадкової складової його появи. Тому при моделюванні результуючих сигналів АЕ зі збільшенням швидкості обертання вузла тертя зменшувалися значення випадкової складової появи окремого імпульсного сигналу АЕ. Слід зазначити, що випадкова складова появи імпульсного сигналу АЕ впливає як на форму результуючого сигналу АЕ, так і на його основні амплітудно-енергетичні параметри. При цьому визначення залежностей між випадковою складовою появи окремого імпульсного сигналу АЕ та факторами, які впливають на процес тертя поверхонь із КМ, є достатньо складним завданням. Тому з врахуванням динаміки процесу тертя поверхонь при моделюванні результуючих сигналів АЕ вважалося, що залежність між швидкістю обертання вузла тертя та випадковою складовою появи імпульсного сигналу АЕ є лінійною та оберненою.

З урахуванням прийнятих вище умов було проведено моделювання сигналів АЕ при різних значеннях швидкості обертання тертя із КМ. При моделюванні всі параметри, які входять у вираз (1), були приведені до безрозмірних величин. Моделювання сигналів АЕ проводилося у відносних одиницях при наступних величинах. Значення параметрів $\tilde{v}_0$, $\tilde{r}$, $\tilde{g}$, які входять у модель імпульсного сигналу АЕ [8], були прийняті наступні: $\tilde{v}_0=10^6$; $\tilde{r}=10^4$; $\tilde{g}=0,1$. Величина $\tilde{\alpha}$, яка характеризує швидкість навантаження елементарних площадок вузла тертя із КМ, змінювалася в межах від 100 до 400 з кроком приросту $\Delta\tilde{\alpha}=100$. Час початку руйнування $\tilde{t}_0$ початкової площадки контактної взаємодії у відносних одиницях для прийнятого порогового напруження руйнування $\tilde{\sigma}_0=0,1019419$ становив $\tilde{t}_0=0,0012$ згідно з [8].

Значення інтервалу часу $\Delta\tilde{t}_j$, який характеризує швидкість зміни площадок контактної взаємодії, а отже, і швидкість обертання вузла тертя із КМ, для $\tilde{\alpha}=100$ був прийнятий рівним $\Delta\tilde{t}_j=1,1 \cdot 10^{-6}$ з урахуванням тривалості одиничного імпульсного сигналу АЕ [8]. При цьому для прийнятого значення $\tilde{\alpha}$ величина $\tilde{\delta}$ змінювалася в межах від $\tilde{\delta}=0 \dots 5 \cdot 10^{-7}$ псевдовипадковим чином. Початкове значення параметра $\tilde{\delta}$ було прийнято з урахуванням лінійних розмірів елементів КМ, а також умов перекриття окремих імпульсних сигналів АЕ.

При моделюванні результуючих сигналів АЕ також вважалося, що розміри та форма елементарної площадки контактної взаємодії не змінювалися в часі у ході випробування зразків тертя із КМ, які працюють в умовах нормального зношування. При цьому поверхні фрикційного контакту із КМ повністю перекривалися між собою.

Результати моделювання результуючого сигналу АЕ для прийнятих граничних значень швидкості навантаження $\tilde{\alpha}=100$ та $\tilde{\alpha}=400$ у вигляді графіків зміни амплітуди $\tilde{U}$ для прийнятих значення вибірки N у відносних одиницях згідно з рівнянням (1) показано на рис. 1. Результати моделювання сигналів АЕ представлялися залежно від вибірки N , що є пропорційно часовому проміжку дослідження зразків тертя із КМ, тобто $T=\Delta t_d \cdot N$. Інтервал дискретизації результуючого сигналу АЕ Δt_d становив $\Delta t_d=1 \cdot 10^{-7}$.

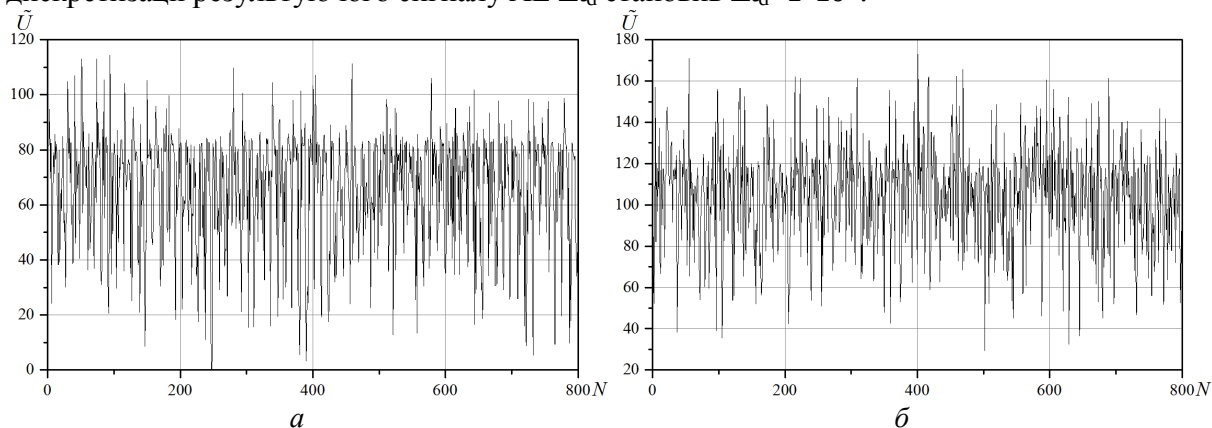


Рис. 1. Зміна амплітуди результуючого сигналу акустичної емісії в часі при випробуванні вузла тертя із композиційних матеріалів на стадії його нормального зношування. Швидкість навантаження вузла тертя $\tilde{\alpha} = 100$ (а) та $\tilde{\alpha} = 400$ (б)

Результати проведеного моделювання показують, що на стадії нормального зношування вузла тертя із КМ формується неперервний сигнал АЕ, який характеризується визначеним середнім рівнем та величиною розкиду. Зростання швидкості обертання вузла тертя із КМ приводить до зростання середнього рівня амплітуди $\tilde{U}$ результуючих сигналів АЕ та величин її розкиду.

На рис. 2 показано результати обробки амплітуд сигналів АЕ, які формуються при терті поверхонь із КМ з визначенням коефіцієнта асиметрії $\tilde{\gamma}_U$, коефіцієнта ексцесу $\tilde{K}_U$ для кожної вибірки, а також їх середнього рівня для прийнятого значення швидкості обертання вузла тертя із КМ. Результати досліджень показують, що кожній стадії роботи вузла тертя із КМ відповідає деяке середнє значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу амплітуди результуючого сигналу АЕ. При цьому при збільшенні швидкості обертання вузла тертя із КМ значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу амплітуди результуючого сигналу АЕ також відповідно зростають.

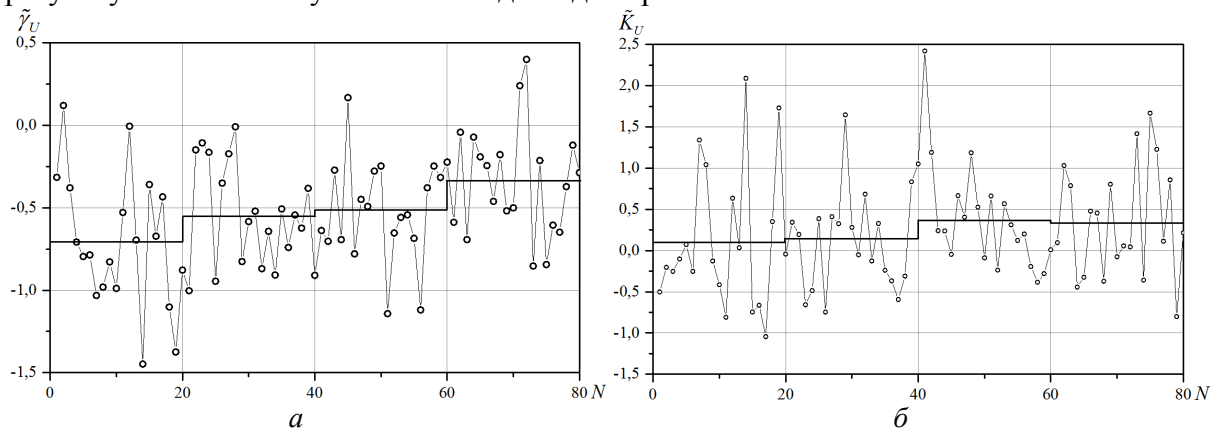


Рис. 2. Закономірності зміни коефіцієнта асиметрії $\tilde{\gamma}_U$ (а) та коефіцієнта ексцесу $\tilde{K}_U$ (б) амплітуди результуючого сигналу акустичної емісії, який зареєстровано при різних швидкостях обертання вузла тертя із композиційних матеріалів

Слід також зауважити, що при збільшенні швидкості обертання вузла тертя значення коефіцієнта асиметрії все більше наближається до нуля. Такий характер зміни коефіцієнта асиметрії свідчить про наближеність до симетричного розподілу амплітуди сигналу АЕ, що буде відповідати нормальним умовам спряження контактуючих поверхонь вузла тертя із КМ, які мають визначені фізико-механічні характеристики та елементарні розміри. Результати моделювання також показали, що приріст значень коефіцієнта асиметрії перевищує приріст значень коефіцієнта ексцесу амплітуди результуючого сигналу АЕ при зміні швидкості обертання вузла тертя із КМ.

Результати моделювання результуючого сигналу АЕ для прийнятих граничних значень швидкості навантаження $\tilde{\alpha} = 100$ та $\tilde{\alpha} = 400$ у вигляді графіків зміни енергії $\tilde{E}$ для прийнятих значення вибірки N у відносних одиницях згідно з рівнянням (1) показано на рис. 3.

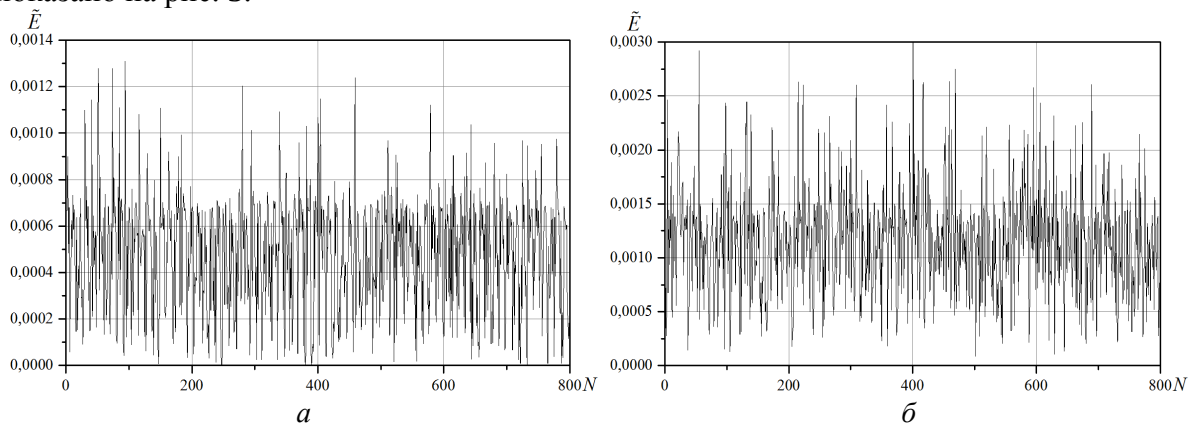


Рис. 3. Зміна енергії результуючого сигналу акустичної емісії в часі при випробуванні вузла тертя із композиційних матеріалів на стадії його нормального зношування. Швидкість навантаження вузла тертя $\tilde{\alpha} = 100$ (а) та $\tilde{\alpha} = 400$ (б)

Результати моделювання показали, що зростання швидкості обертання вузла тертя із КМ також приводить до зростання середнього рівня енергії $\tilde{E}$ результуючих сигналів АЕ, а також величин її розкиду.

На рис. 4 показано результати обробки енергій результуючих сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ з визначенням коефіцієнта асиметрії $\tilde{\gamma}_E$, коефіцієнта ексцесу $\tilde{K}_E$ для кожної вибірки, а також їх середнього рівня для прийнятого значення швидкості обертання вузла тертя із КМ.

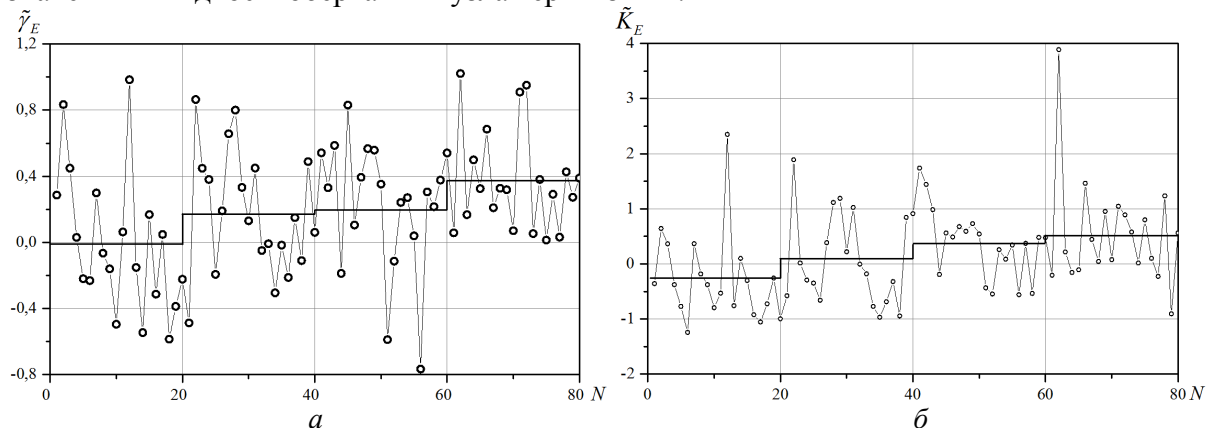


Рис. 4. Закономірності зміни коефіцієнта асиметрії $\tilde{\gamma}_E$ (а) та коефіцієнта ексцесу $\tilde{K}_E$ (б) енергії результуючого сигналу акустичної емісії, який зареєстровано при різних швидкостях обертання вузла тертя із композиційних матеріалів

Результати моделювання показують, що кожній стадії роботи вузла тертя із КМ також відповідає деяке значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу енергії результуючого сигналу АЕ. При цьому при збільшенні швидкості обертання вузла тертя із КМ значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу енергії сигналу АЕ відповідно зростають. Слід також відзначити, що мінімальному значенню швидкості обертання вузла тертя відповідають значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, які наближаються до нуля, тобто до нормального розподілу енергії результуючого сигналу АЕ. Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що енергетичні параметри результуючих сигналів АЕ (статистичні моменти третього та четвертого порядків), на відміну від амплітудних параметрів, більш чутливі до процесів, які протікають при мінімальній контактній взаємодії поверхонь тертя поверхонь із КМ.

Як і для амплітудних параметрів сигналів АЕ при збільшенні швидкості обертання вузла тертя із КМ спостерігається також зростання значень енергетичних параметрів сигналів АЕ. Проте слід зауважити, що значення коефіцієнтів ексцесу амплітуди сигналу АЕ знаходяться в межах від'ємних значень, на відміну від значень коефіцієнтів ексцесу енергії результуючого сигналу АЕ. Збільшення швидкості обертання вузла тертя із КМ, на відміну від значень коефіцієнта ексцесу амплітуди сигналу АЕ, характеризується більшим зростанням значень коефіцієнта ексцесу енергії сигналу АЕ. Результати моделювання також показали, що приріст значень коефіцієнта ексцесу перевищує приріст значень коефіцієнта асиметрії енергії результуючого сигналу АЕ при зміні швидкості обертання вузла тертя із КМ.

На рис. 5 показано абсолютний приріст значень коефіцієнтів асиметрії та ексцесу амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ, які формуються на прийнятому діапазоні швидкостей обертання вузла тертя із КМ.

З рис. 5 видно, що приріст значень коефіцієнтів асиметрії амплітуди та енергії результуючого сигналу АЕ є подібний між собою. При цьому приріст значень коефіцієнта ексцесу амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ суттєво відрізняється між со-

бою. Мінімальний приріст значень коефіцієнта ексцесу відповідає амплітуді результуючого сигналу АЕ, а максимальний приріст значень відповідно відповідає значенням коефіцієнта ексцесу енергії результуючого сигналу АЕ.

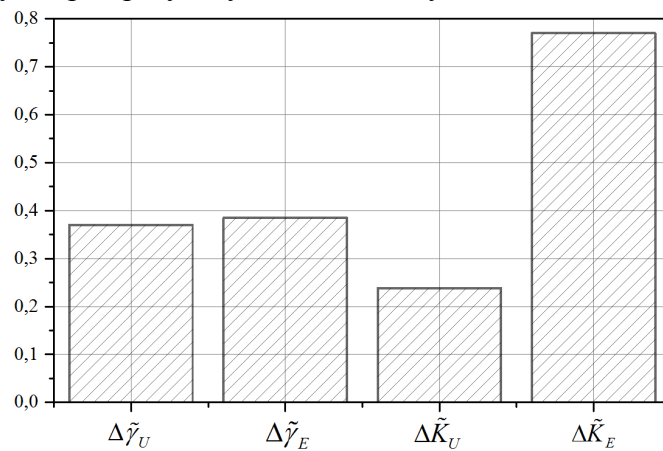


Рис. 5. Абсолютний приріст значень коефіцієнтів асиметрії та ексцесу амплітуди та енергії результуючих сигналів акустичної емісії, які формуються при терті поверхонь із композиційних матеріалів

Висновки і пропозиції. Проведено моделювання амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ, які формуються при різних швидкостях обертання вузла тертя із КМ. Проведено визначення статистичних моментів вищих порядків амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ, які формуються при терті поверхонь із КМ. При цьому було визначено, що при збільшенні швидкості обертання вузла тертя із КМ значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу амплітуди та енергії результуючого сигналу АЕ відповідно зростають.

Встановлено, що швидкість обертання вузла тертя із КМ по-різному впливає на закономірності зміни коефіцієнтів асиметрії та ексцесу амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ. При збільшенні швидкості обертання вузла тертя значення коефіцієнта асиметрії амплітуди результуючого сигналу АЕ все більше наближається до нуля. При цьому мінімальному значенню швидкості обертання вузла тертя відповідають значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, які наближаються до нуля, тобто до нормального розподілу енергії результуючого сигналу АЕ. Збільшення швидкості обертання вузла тертя із КМ, на відміну від значень коефіцієнта ексцесу амплітуди сигналу АЕ, характеризується більшим зростанням значень коефіцієнта ексцесу енергії сигналу АЕ.

Приріст значень коефіцієнтів асиметрії амплітуди та енергії результуючого сигналу АЕ, який формується при різних швидкостях обертання вузла тертя із КМ, подібний між собою. Проте приріст значень коефіцієнта ексцесу амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ суттєво відрізняється між собою. Мінімальний приріст значень коефіцієнта ексцесу відповідає амплітуді результуючого сигналу АЕ, а максимальний приріст значень відповідає значенням коефіцієнта ексцесу енергії результуючого сигналу АЕ, що відповідає найбільшій чутливості серед досліджених амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ. Це означає, що у процесі експериментальних досліджень результуючих сигналів АЕ, які формуються при різних швидкостях обертання вузла тертя із КМ, найменшої чутливості слід очікувати для коефіцієнта ексцесу амплітуди сигналу АЕ, а найбільшої – для коефіцієнта ексцесу енергії сигналу АЕ. При цьому у ході аналізу асиметрії розподілу результуючого сигналу АЕ можна розглядати як амплітудну, так і енергетичну складову сигналу АЕ.

Перспективним напрямком досліджень є аналіз статистичних моментів вищих порядків амплітуд та енергій результуючих сигналів АЕ, які формуються при різних навантаженнях вузла тертя із КМ.

Список використаних джерел

1. Liao C., Suo S., Wang Y., Huang W., Liu Y. Study on stick-slip friction of reciprocating o-ring seals using acoustic emission techniques // Tribology transactions. – 2012. – Vol. 55. – № 1. – P. 43–51.
2. Hong E., Kaplin, B., You T., Suh M., Kim Y.S., Choe H. Tribological properties of copper alloy-based composites reinforced with tungsten carbide particles // Wear. – 2010. – Vol. 270. – P. 591–597.
3. Об'єднанні і функціонуванні МК покриття, отриманого з допомогою ревіталізаторів / В. Н. Стадніченко, Н. Г. Стадніченко, Р. Н. Джус, О. Н. Трошин // Вестн. науки и техн. – Харьков : ХДНТ и НТУ “ХПИ”, 2004. – № 1(16). – С. 18–27.
4. Filonenko S. Model of acoustic emission signal at the prevailing mechanism of composite material mechanical destruction / S. Filonenko, T. Nimchenko, O. Kosmach // Aviation. – 2010. – Vol. 4(14). – P. 95–103.
6. Filonenko S. Impact of rotational speed of composite friction pair on energy accumulation in acoustic emission signal formation / S. Filonenko, O. Kosmach // Aviation. – 2013. – Vol. 17 (4). – P. 129–136.
7. Філоненко С. Ф. Модель сигналу акустичної емісії при терті поверхонь композиційних матеріалів / С. Ф. Філоненко, Т. Н. Косицька, О. П. Космач // Наукоємні технології. – 2010. – № 2(6). – С. 30–38.
8. Filonenko S. Destruction of composite material by shear load and formation of acoustic radiation / S. Filonenko, V. Kalita, O. Kosmach // Aviation. – 2012. – Vol. 1(16). – P. 1–9.
9. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – Питер, 2006. – 751 с.
10. Філоненко С. Ф. Моделирование акустического излучения при изменении скорости вращения пары трения из композиционных материалов / С. Ф. Філоненко, О. П. Космач // Технологические системы. – 2013. – № 1. – С. 73–81.

УДК 621.923.42

М.В. Міщенко, канд. техн. наук

Г.В. Пасов, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**АВАРИЙНИЙ РЕМОНТ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ГАЗ-544 І ЙОГО
МОДИФІКАЦІЙ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ ВНАСЛІДОК КОНСТРУКТИВНОГО
ПРОРАХУНКУ**

Н.В. Мищенко, канд. техн. наук

Г.В. Пасов, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**АВАРИЙНЫЙ РЕМОНТ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ГАЗ-544 И ЕГО
МОДИФИКАЦИЙ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ В СВЯЗИ С КОНСТРУКТИВНОЙ
НЕДОРАБОТКОЙ**

Mykola Mishchenko, PhD in Technical Sciences

Hennadii Pasov, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

**EMERGENCY REPAIR OF DIESEL GAS-544 AND ITS MODIFICATIONS
IN FIELD IN CONNECTION WITH DESIGN FLAWS**

Представлено аналіз відомих способів виділення уламка болта з'єднання головки циліндра та картера, а також запропоновано новий спосіб, який не потребує спеціального дорогого обладнання та може бути виконаний у будь-яких, у тому числі і польових умовах.

Ключові слова: двигун, картер, головка циліндра, ремонт, уламок, зварювання.

Представлен анализ известных способов удаления обломка болта соединения головки цилиндра и картера, а также предложен новый способ, который не требует специального дорогого оборудования и может быть реализован в любых, в том числе и полевых условиях.

Ключевые слова: двигатель, картер, головка цилиндра, ремонт, обломок, сварка.

The analysis of the known methods to remove fragments of the bolt connection of the cylinder head and crankcase, as well as a new method that does not require special expensive equipment and can be implemented in all, including field

Key words: engine, crankcase, cylinder head, repair, fragment, welding.

Постановка проблеми. Довговічність і надійність роботи будь-якої машини залежить від правильних розрахунків на міцність і надійність не тільки всієї машини, а також її складових. Проте, яким б не були надійні вузли та деталі машини, без виконання ремонтних робіт не обійтись.

Зокрема, у процесі експлуатації двигунів внутрішнього згорання часто необхідно здійснювати ремонтні роботи саме двигуна як головного елемента автомобіля.

Потребує вирішення проблема виконання ремонтних робіт двигуна у складних умовах: польовий стан, не обладнана спеціальним обладнанням майстерня.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення цієї задачі пропонуються різні методи. Перший полягає в тому, що необхідно насвердлюватись в уламок і після цього його видаляти [1; 3]. Але з урахуванням того, що болт кріплення головки блока циліндра двигуна ГАЗ-544.10 термооброблений, це зробити досить важко (металографічний аналіз різьбової частини болта: структура – тростит, твердість *HRC* 44, твердість біля головки *HRC* 30).

За другим методом пропонується випалювати уламок і, таким чином, видаляти його з отвору [1; 2; 4]. Проте застосування випалювання може пошкодити різь в отворі та призвести до погіршення ремонтної ситуації, а також потребує спеціального обладнання.

Таким чином, виникла проблема – як видалити уламок і не пошкодити інші частини двигуна.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Необхідно запропонувати спосіб видалення уламка болта кріплення з отвору картера у випадку, коли останній закручений.

Мета статті. Метою роботи є аналіз відомих способів виділення уламків болтів з'єднання а також викладання нового запропонованого способу, який може бути реалізований у польових та інших умовах без спеціалізованого унікального обладнання.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 представлено поперечний перетин двигуна ГАЗ-544.10.

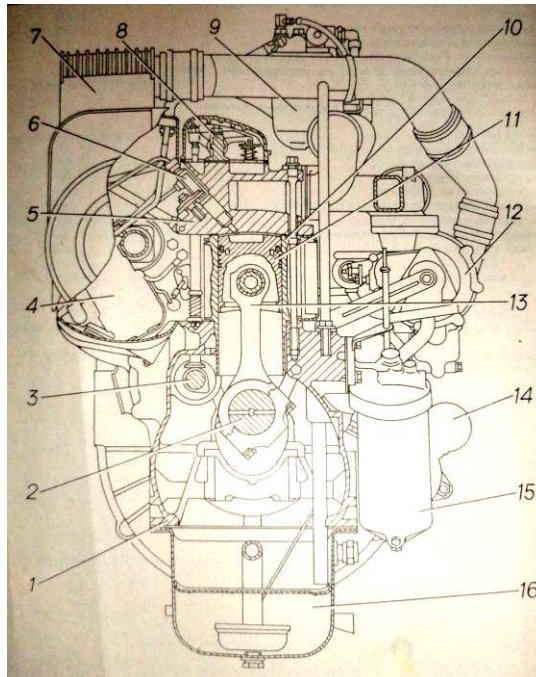


Рис. 1. Поперечний розріз двигуна: 1 – картер двигуна; 2 – колінчастий вал; 3 – розподільний вал; 4 – паливний насос високого тиску; 5 – голівка циліндра; 6 – форсунка; 7 – охолоджувач наддувного повітря; 8 – привод клапанів; 9 – паливний фільтр; 10 – циліндр; 11 – поршень; 12 – турбокомпресор; 13 – шатун; 14 – стартер; 15 – мастильний фільтр; 16 – мастильний картер

На рис. 2 представлена схема закріплення головки циліндра 7 до картера для двигуна ГАЗ-544.10. У процесі роботи двигуна в головку циліндра 7 через впускний клапан 6 всмоктується повітря, у кінці такту стиснення впорскується через форсунку 9 паливо, яке за рахунок високого тиску спалахує, виникає процес розширення газів, які і приводять у рух поршень 1. Поршень 1 зв'язаний через шатун 2 з колінчастим валом 3, який, у свою чергу, приводить у рух всі подальші механізми автомобіля.

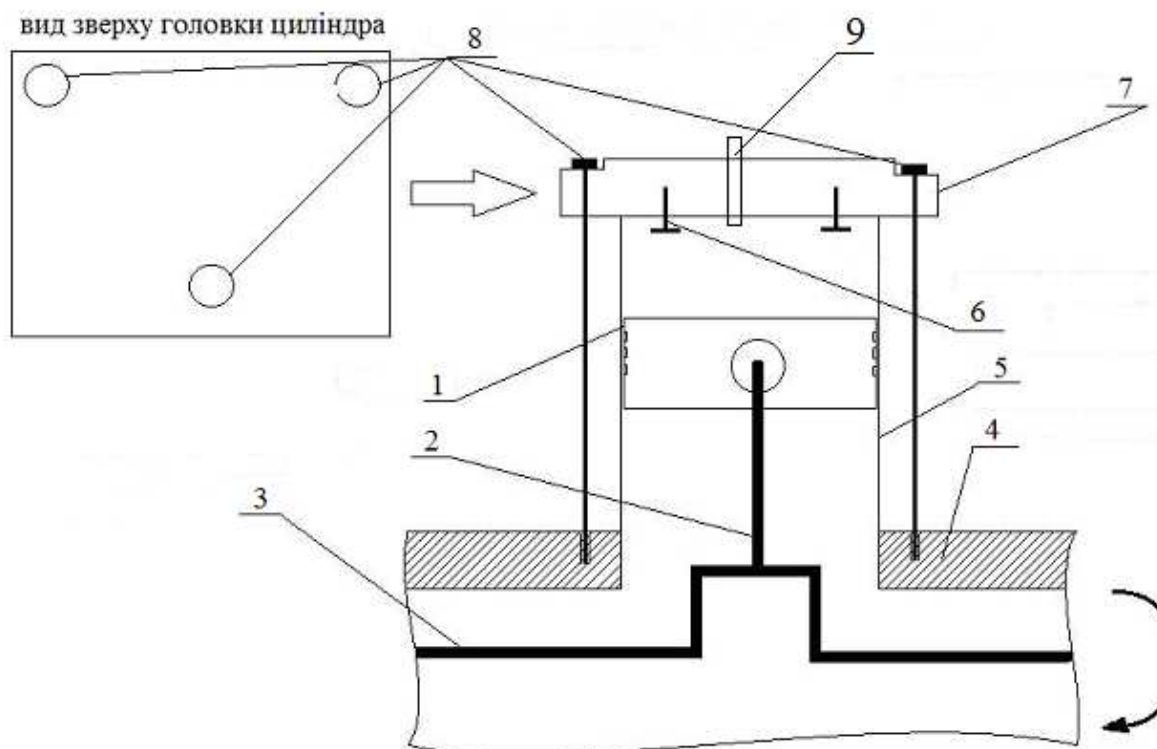


Рис. 2. Схема закріплення головки циліндра до картера двигуна: 1 – поршень; 2 – шатун; 3 – колінчастий вал; 4 – блок картера; 5 – гільза циліндра; 6 – впускний та випускний клапани; 7 – головка циліндра; 8 – болти з'єднання головки циліндра та блока; 9 – форсунка

Головка циліндра 7 закріплюється на блоці картера 4 за допомогою болтів 8. Особливістю цього кріплення є те, що ці болти розташовані нерівномірно по колу (рис. 3) – кут між ними не 120° .



Рис. 3. Схема розташування отворів кріплення картера двигуна

На рис. 4 представлено місце встановлення болта в картер двигуна.



Рис. 4. Місце встановлення болта кріплення в картер двигуна

У зв'язку з наведеним у процесі роботи циліндра на болти кріплення діють сили, які не однакові для всіх трьох болтів. У свою чергу, це призводить до роботи цих болтів не в однакових умовах. Унаслідок чого один з кріпильних болтів виривається з глухого отвору картера та пошкоджується – розривається (рис. 5).



Рис. 5. Розірваний болт

На рис. 6 представлено місце злому кріпильного болта на картері двигуна.

Таким чином, виникає потреба в ремонті. Критичність ситуації погіршується тим, що при цьому розламана частина болта залишається у глухому отворі. Для подальшого ремонту необхідно видалити цей уламок з отвору.

Для виконання ремонтних робіт було розроблено пристосування, представлене на рис. 7.

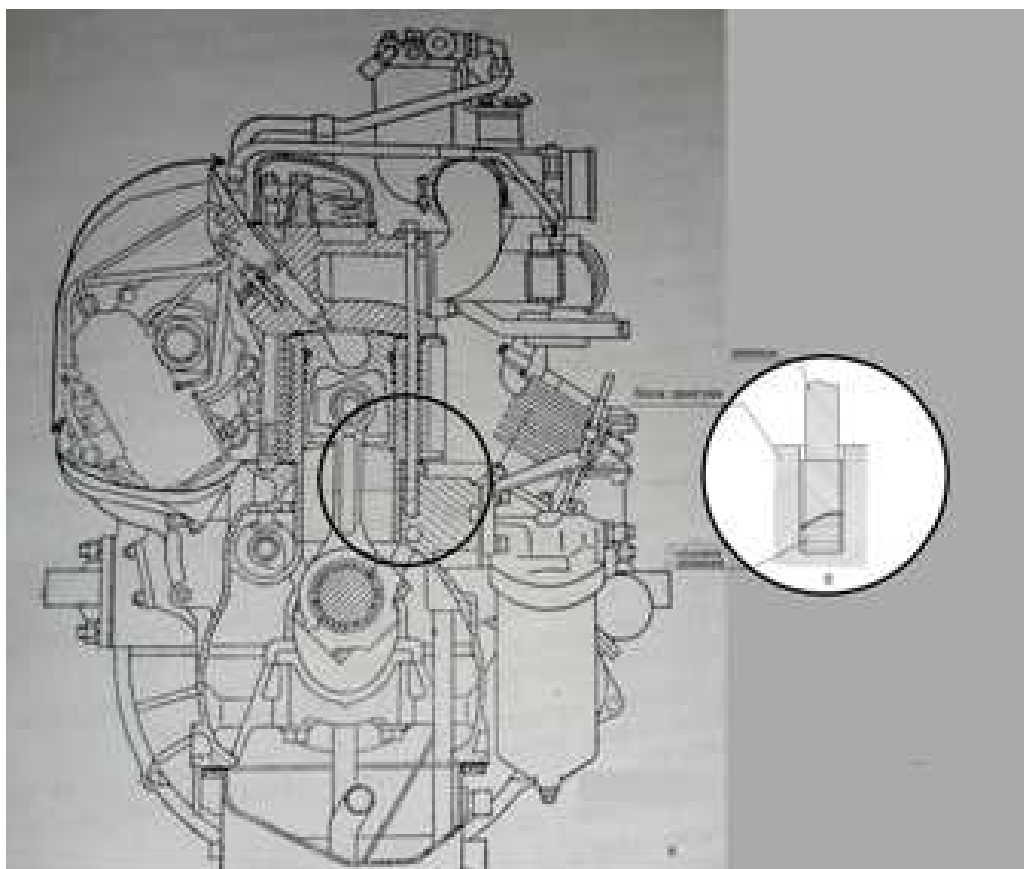


Рис. 6. Місце злому кріпильного болта на поперечному перерізі двигуна

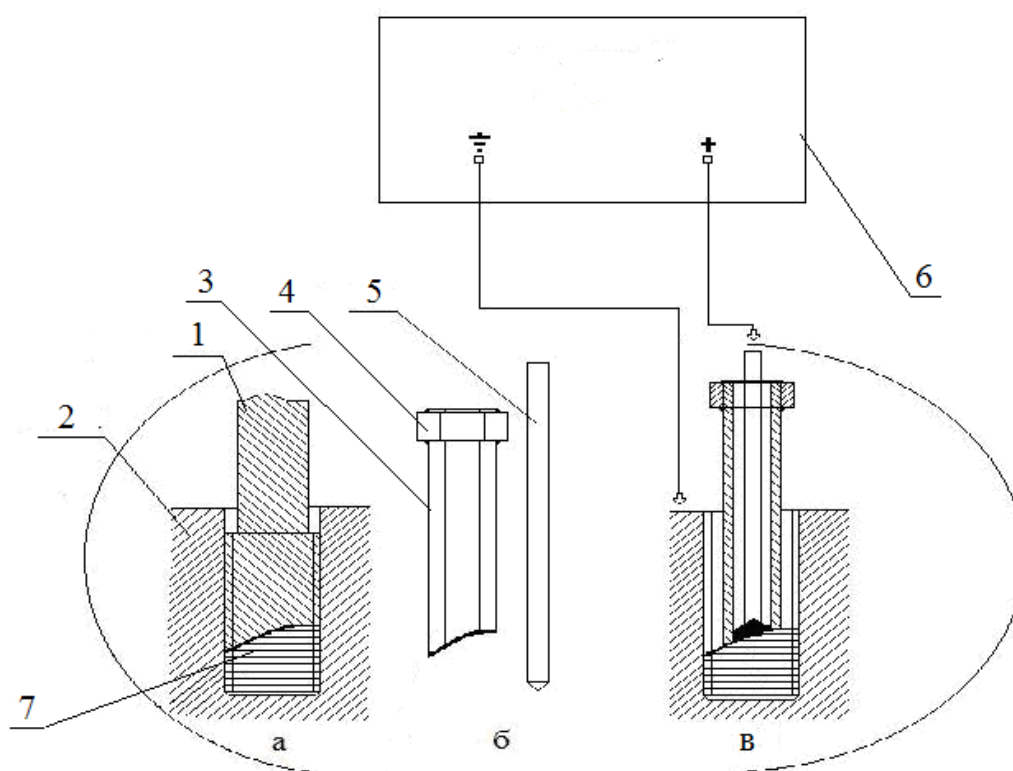


Рис. 7. Методика виправлення несправності

а – місце обриву болта кріплення; б – пристосування для виправлення несправності; в – виправлення несправності; 1 – болт кріплення; 2 – картер двигуна; 3 – напрямна втулка; 4 – гайка; 5 – електрод; 6 – зварювальний апарат; 7 – уламок болта з'єднання

Замість обламаного болта 1 в отвір картера 2 встановлюють пристосування, яке складається з втулки 3 та привареної до неї гайки 4, при цьому втулка повинна щільно прилягти до відламаної частини, кут нахилу нижньої частини втулки повинен відповідати куту нахилу відламаної частини. У внутрішню порожнину втулки вставляють електрод 5 для виконання зварювальних робіт. Після цього підключають цю конструкцію до зварювального апарата 6. У зв'язку з тим, що втулка 3 контактує з уламком 7, під час зварювання вона приварюється до нього. В подальшому зварювальний електрод 5 виймають з отвору та здійснюють викручування пристосування з отвору картера двигуна разом з привареним уламком 7. Таким чином, проблема, як звільнити отвір картера від уламка шпильки, вирішується.

Висновки і пропозиції. У роботі представлений аналіз відомих способів видалення уламка болта з'єднання картера та головки циліндра, а також запропонований новий більш дешевий на простіший спосіб.

Розроблений спосіб ремонту дозволяє його використовувати в будь-яких машинах і механізмах, у тому числі й військового призначення і виконувати всі необхідні роботи в будь-яких умовах: у польових, у майстерні, яка не оснащена спеціальним, дорогим обладнанням.

Список використаних джерел

1. Боровских Ю. И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / Ю. И. Боровских, В. М. Никифоров, В. М. Кленников. – М. : Высшая школа, 1983. – 300 с.
2. Практическое руководство. Автомобиль ГАЗ-3309. Устройство, ремонт, техническое обслуживание. – Н. Новгород, 2003. – 208 с.
3. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / В. М. Власов, С. В. Жанказиев и др. – М. : Академия, 2004. – 480 с.
4. Туревский И. С. Техническое обслуживание автомобилей / И. С. Туревский. – М. : Форум, Инфра-М, 2007. – Книга 1. Техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей. – 432 с.

УДК 621.941-229.3:531.133

С.П. Сапон, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ ШПИНДЕЛЯ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ**С.П. Сапон**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ**Serhii Sapon**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

THE SIMULATION OF TRAJECTORIES OF SPINDLE WITH ADJUSTABLE HYDROSTATIC BEARINGS

Основним параметром точності шпиндельного вузла є траєкторії просторового руху шпинделя, які формуються під дією сукупності змінних за величиною і напрямом зовнішніх та внутрішніх силових впливів. Досліджено закономірності формування точності шпиндельного вузла прецизійного токарного верстата за показником траєкторії руху шпинделя, встановленого на гідростатичних опорах. Розроблено математичну модель траєкторій руху шпинделя в зосереджених параметрах, що дозволяє визначити положення шпинделя на основі врахування одночасного впливу конструктивних параметрів, геометричних відхилень форми, температурних деформацій опорних поверхонь підшипника, випадкового характеру експлуатаційних параметрів гідростатичних опор та технологічних навантажень. За результатами чисельного моделювання встановлено вплив похибок форми опорних поверхонь гідростатичного підшипника на статистичні характеристики радіус-вектора траєкторій шпинделя при варіюванні величинами частоти обертання шпинделя та тиску мастила в передній гідростатичній шпиндельній опорі верстата.

Ключові слова: шпиндель, гідростатична опора, траєкторія, точність, радіус-вектор, тиск, частота обертання, похибки форми, радіальний зазор.

Основным параметром точности шпиндельного узла являются траектории пространственного движения шпинделя, которые формируются под действием совокупности переменных по величине и направлению внешних и внутренних силовых воздействий. Исследованы закономерности формирования точности шпиндельного узла прецизионного токарного станка по показателю траектории движения шпинделя, установленного на гидростатических опорах. Разработана математическая модель траекторий движения шпинделя в сосредоточенных параметрах, которая позволяет определить положение шпинделя на основе учета одновременного влияния конструктивных параметров, геометрических отклонений формы, температурных деформаций опорных поверхностей подшипника, случайного характера эксплуатационных параметров гидростатических опор и технологических нагрузок. В результате численного моделирования установлено влияние погрешностей формы опорных поверхностей гидростатического подшипника на статистические характеристики радиус-вектора траекторий шпинделя при варьировании величинами частоты вращения шпинделя и давления масла в передней гидростатической шпиндельной опоре станка.

Ключевые слова: шпиндель, гидростатическая опора, траектория, точность, радиус-вектор, давление, частота вращения, погрешности формы, радиальный зазор.

The main parameter of accuracy spindle knot is a trajectory of spatial movement of the spindle, which are formed under the influence of the totality of variables in value and direction internal and external power impacts. In this paper were researched laws formation of accuracy spindle knot precision turning machine in terms of the trajectory movement of the spindle mounted on hydrostatic bearings. The mathematical model of trajectories of spindle in the lumped parameter has been developed. This model allows to determine the position of the spindle on the basis of the account the simultaneous the influence of design parameters, the geometric form variations, temperature deformations support surfaces of the bearing, the random character of operational parameters of hydrostatic bearings and technological loads. As a result of numerical simulation determined the influence of form variation the bearing surfaces of the hydrostatic bearing on the statistical characteristics of the radius-vector trajectories of spindle at a variation of the values of spindle rotation frequency and oil pressure in the front hydrostatic bearing of the machine tool.

Key words: spindle, hydrostatic bearing, trajectory, accuracy, radius-vector, pressure, frequency of rotation, form variation, radial clearance.

Постановка проблеми. Одним з найбільш відповідальних формоутворюючих вузлів будь-якого верстата є шпиндельний вузол (ШВ), вихідні показники точності якого суттєво залежать від типу шпиндельних опор. Перспективним напрямком підвищення ефективності механічної обробки є застосування як шпиндельних опор верстатів гідростатичних підшипників регульованого типу. Завдяки можливості регулювання геометричних, експлуатаційних параметрів гідростатичних опор (ГСО) залежно від характеру технологічного навантаження розширюються технологічні можливості верстатів через суміщення чорнової та чистової обробки, підвищується продуктивність обробки та знижуються експлуатаційні витрати [1].

Основним вихідним параметром точності ШВ є траєкторії руху фіксованих точок, розташованих на допоміжних базах шпинделя, що визначають положення різального інструменту або пристрою із закріпленою заготовкою [2; 3]. Траєкторії руху шпинделя формуються під дією сукупності змінних за величиною і напрямом зовнішніх та внутрішніх зусиль зі складовими детермінованого та стохастичного характеру: зусилля різання, реакції в ГСО, зусилля з боку привода головного руху, статична і динамічна неврівноваженість обертових елементів ШВ, оброблюваної заготовки, технологічного оснащення, яке закріплюється в (на) шпинделі тощо. Аналіз закономірностей формування траєкторій руху шпинделя під дією такої системи сил з одночасним врахуванням похибок форми, пружних та температурних деформацій опорних поверхонь ГСО є актуальним науковим завданням. Вирішення цього завдання дозволить на етапі проектування встановити раціональні конструктивні та експлуатаційні параметри ШВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі дослідження точності ШВ з ГСО переважно ґрунтуються на оцінці детермінованого впливу окремих конструктивних [4; 5], експлуатаційних [3; 4; 6], геометричних параметрів ГСО [3; 5–7], технологічних навантажень [3; 8], пружних, температурних деформацій [3; 9] на вихідні показники точності ШВ. Опорні поверхні ГСО переважно ідеалізуються або враховуються окремі відхилення форми [5–7].

Невирішені частини проблеми. Сучасні теоретичні підходи не дозволяють адекватно, в умовах максимально наближених до реальних умов експлуатації визначити вихідні показники точності ШВ, оскільки реальний профіль опорних поверхонь шпиндельних ГСО містить сукупність відхилень форми [1] та змінюється під дією пружних і температурних деформацій, які, як і більшість експлуатаційних параметрів ГСО та технологічних навантажень, мають випадковий характер та здійснюють одночасний вплив на ШВ. Тому виявлення закономірностей формування точності ШВ за показником траєкторій руху шпинделя при одночасному врахуванні похибок форми, температурних деформацій опорних поверхонь, випадкового характеру експлуатаційних параметрів шпиндельних ГСО та технологічних навантажень є актуальним науковим завданням, вирішення якого дозволить підвищити якість верстатів та розширити їх технологічні можливості.

Метою дослідження є розроблення математичної моделі траєкторій руху шпинделя на ГСО, в якій враховано одночасний вплив на точність положення шпинделя конструктивних параметрів, геометричних відхилень форми, температурних деформацій спряжених поверхонь підшипника, випадкових і детермінованих технологічних навантажень та експлуатаційних параметрів ГСО.

Виклад основного матеріалу. Основою для теоретичного аналізу просторового руху шпинделя на ГСО є метод траєкторій [1; 10], заснований на спільному чисельному інтегруванні системи рівнянь гідродинаміки мастильного шару і рівнянь руху шпинделя, що дозволяє моделювати реальну динамічну поведінку шпинделя, враховуючи вплив нелінійних реакцій мастильного шару, експлуатаційних параметрів ГСО, силових технологічних навантажень тощо.

Як об'єкт моделювання розглянуто ШВ прецизійного токарного верстата УТ16А (рис. 1), шпиндель 3 якого встановлений на двох радіальних чотирьохкарманних ГСО 1 і 6 та упорному підшипнику, утвореному торцями втулок 5 та 7 і корпусом передньої радіальної ГСО.

Положення шпинделя у просторі під дією силового навантаження та реакцій у ГСО описується траєкторією руху його осі. Враховуючи, що осьові зміщення шпинделя токарного верстата фактично не впливають на точність формоутворення в радіальному напрямку [1; 3; 11], для спрощення математичної моделі робимо припущення про відсутність осьових переміщень шпинделя і дослідження точності ШВ здійснюємо за траєкторіями його руху в площині, перпендикулярній до його геометричної осі.

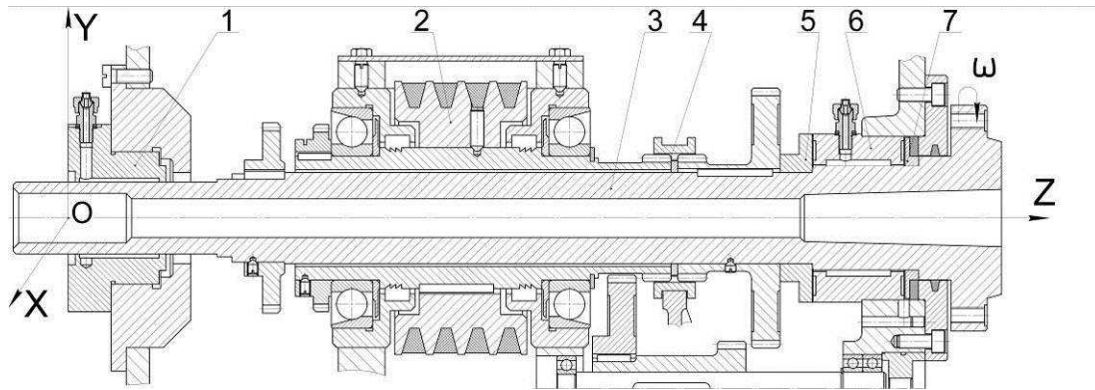


Рис. 1. Конструктивна схема шпиндельного вузла токарного верстата УТ16А:
1, 6 – радіальні ГСО; 2 – шків привода; 3 – шпиндель; 4 – зубчаста муфта;
5, 7 – втулки осьової ГСО

Під дією силових навантажень шпиндель буде зміщуватись у підшипникових опорах внаслідок їх податливості і деформуватись (згинатись), що проявляється у зміні форми пружної лінії шпинделя. За рекомендаціями [11] у спрощеному вигляді зміщення шпинделя під дією силових навантажень та реакцій мастильного шару представлено у вигляді еквівалентної одномасової динамічної моделі (рис. 2), яка включає в себе приведену масу m , яка зміщується у вертикальному Δy та горизонтальному Δx напрямках під дією приведених до зони різання рівнодіючої силових навантажень F , представленої її проекціями F_x , F_y та рівнодіючої R реакцій у ГСО, також представленою у вигляді проєкцій R_x , R_y .

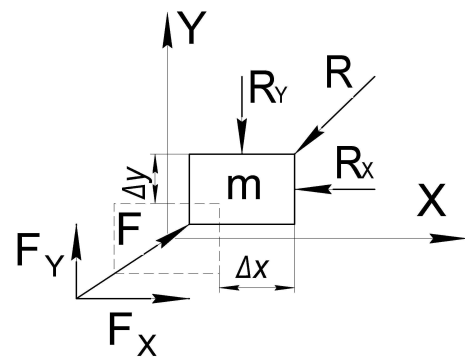


Рис. 2. Еквівалентна приведена одномасова динамічна модель шпинделя

Унаслідок незначного впливу характеристик задньої ГСО шпинделя на показники точності обробки реакції мастильного шару, що виникають у задній ГСО, не враховували.

У приводі головного руху верстата УТ16А застосовано пасову передачу, розвантажену від зусиль натягу пасів, тому зусилля з боку привода представлено випадковою складовою, зумовленою ударними процесами взаємодії зубчастих коліс у зубчастій муфті 4 (рис. 1).

З врахуванням всіх попередньо здійснених припущень система диференціальних рівнянь, які описують зміщення шпинделя у площині, перпендикулярній його геометричній осі, матиме вигляд:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_x - R_x, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_y - R_y, \end{cases} \quad (1)$$

де m – приведена маса шпинделя, кг;

F_x , F_y , R_x , R_y – проєкції на осі OX та OY відповідно рівнодіючої силових навантажень на шпиндель та рівнодіючої реакцій у ГСО, Н.

Проєкції F_x , F_y рівнодіючої силових навантажень на шпиндель, приведеної до зони різання, визначаються за залежностями:

$$F_x = \chi_c F_{Cx} + \chi_R F_{prx} + \chi_P P_x, \quad (2)$$

$$F_y = \chi_c F_{Cy} + \chi_R F_{pry} + \chi_P P_y + \chi_G mg, \quad (3)$$

де $\chi_c, \chi_R, \chi_P, \chi_G$ – коефіцієнти приведення сил та маси до зони різання;

$F_{Cx}, F_{Cy}, P_x, P_y, F_{pry}, F_{prx}$ – проекції на осі ОХ та ОУ відповідно відцентрової сили інерції, складових зусилля різання та зусилля з боку привода головного руху, Н.

Слід відзначити, що практично всі компоненти складових рівнодіючої силових навантажень (формули (2) і (3)) мають випадковий характер, для визначення яких у загальному випадку застосовували залежність:

$$f(\tau) = \bar{m}_f + \Delta f \cdot \zeta(\tau), \quad (4)$$

де $\bar{m}_f, \Delta f$ – математичне сподівання та діапазон розсіювання випадкової величини;

$\zeta(\tau)$ – центрований випадковий процес коливання величини.

Таким чином, при моделюванні випадкового процесу коливання кутової швидкості її абсолютне значення в певний момент часу τ визначали:

$$\omega(\tau) = \omega_n + \Delta\omega_n \cdot q(\tau), \quad (5)$$

де $\omega_n, \Delta\omega_n$ – номінальне значення та діапазон відхилення кутової швидкості обертання;

$q(\tau)$ – випадковий процес флуктуації кутової швидкості.

Діапазон відхилення кутової швидкості визначали на основі апіорної інформації про статистичні характеристики випадкової зміни кутової швидкості шпинделя, отриманої за результатами серії додаткових експериментів.

Проекції відцентрової сили інерції, зумовленої статичною неврівноваженістю обертючих елементів шпиндельного вузла, з врахуванням коливання величини кутової швидкості визначали за залежностями:

$$F_{Cx}(\tau) = m\Delta(\omega_n + \Delta\omega_n \cdot q(\tau))^2 \cos(\omega_n \tau + \varepsilon), \quad (6)$$

$$F_{Cy}(\tau) = m\Delta(\omega_n + \Delta\omega_n \cdot q(\tau))^2 \sin(\omega_n \tau + \varepsilon), \quad (7)$$

де Δ – зміщення центра мас системи, обумовлене статичним дисбалансом;

ε – початкова фаза статичного дисбалансу.

За наявності статичної неврівноваженості обертючих елементів шпиндельного вузла абсолютне значення глибини різання в момент часу τ визначали:

$$t(\tau) = t_n + \Delta \cdot \cos(\omega_n \tau + \varepsilon) + \Delta t_n \cdot \zeta(\tau), \quad (8)$$

де t_n – номінальне значення глибини різання, мм;

Δt_n – величина коливання припуску, мм;

$\zeta(\tau)$ – випадковий процес коливання глибини різання.

Випадковий процес коливання глибини різання можна реалізувати у вигляді «білого шуму», аналогічно кутовій швидкості обертання шпинделя, або у вигляді гармонічної функції з випадковими амплітудою та початковою фазою [11]:

$$\zeta(\tau) = a(\tau) \cos(\omega_n \tau + \alpha_n), \quad (9)$$

де $a(\tau)$ – амплітудний коефіцієнт, що набуває випадкових значень з інтервалу $[-1; 1]$ з відповідним законом розподілу;

α_n – випадкова фаза гармонічної функції з рівномірним розподілом в інтервалі $[0; 2\pi]$.

Миттєві значення подачі на оберт $S_0(\tau)$ залежать від номінального значення S_0 , а також випадкової величини, що враховує нерівномірність переміщення супорта внаслідок кінематичних похибок привода ходового вала:

$$S_0(\tau) = S_0 + \Delta S_0 \cdot \eta(\tau), \quad (10)$$

де $S_0, \Delta S_0$ – номінальне значення та діапазон відхилення подачі на оберт, мм/об;

$\eta(\tau)$ – випадковий процес коливання величини подачі на оберт.

З урахуванням випадкових складових глибини різання, подачі, частоти обертання шпинделя, абсолютні значення проекцій P_x , P_y зусилля різання в певний момент часу τ визначали за залежностями:

$$P_x(\tau) = 10C_{Px}(t_n + \Delta \cdot \cos(\omega_n \tau + \varepsilon) + \Delta t_n \cdot \zeta(\tau))^x (S_0 + \Delta S_0 \cdot \eta(\tau))^y \times \\ \times \left(\frac{3D \cdot (\omega_n + \Delta \omega_n q(\tau))}{100} \right)^n \cdot K_{Px}(\tau), \quad (11)$$

$$P_y(\tau) = 10C_{Py}(t_n + \Delta \cdot \sin(\omega_n \tau + \varepsilon) + \Delta t_n \cdot \zeta(\tau))^x (S_0 + \Delta S_0 \cdot \eta(\tau))^y \times \\ \times \left(\frac{3D \cdot (\omega_n + \Delta \omega_n q(\tau))}{100} \right)^n \cdot K_{Py}(\tau), \quad (12)$$

де C_{Px} , C_{Py} , n , x , y – коефіцієнти та показники степені, що враховують вид обробки, фізико-механічні властивості матеріалу інструменту і заготовки;

D – діаметр оброблюваної поверхні, мм;

$K_{Px}(\tau)$, $K_{Py}(\tau)$ – поправочні коефіцієнти, що враховують фактичні умови обробки та визначаються як добуток миттєвих значень ряду коефіцієнтів, представлених у вигляді випадкових величин з відповідними діапазонами зміни та законами розподілу:

$$K_{Px}(\tau) = K_{mP}(\tau) \cdot K_{\varphi Px}(\tau) \cdot K_{\gamma Px}(\tau) \cdot K_{\lambda Px}(\tau) \cdot K_{rPx}(\tau), \\ K_{Py}(\tau) = K_{mP}(\tau) \cdot K_{\varphi Py}(\tau) \cdot K_{\gamma Py}(\tau) \cdot K_{\lambda Py}(\tau) \cdot K_{rPy}(\tau),$$

де $K_{mP}(\tau)$ – поправочний коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу;

$K_{\varphi Px}(\tau)$, $K_{\gamma Px}(\tau)$, $K_{\lambda Px}(\tau)$, $K_{rPx}(\tau)$, $K_{\varphi Py}(\tau)$, $K_{\gamma Py}(\tau)$, $K_{\lambda Py}(\tau)$, $K_{rPy}(\tau)$ – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструмента.

Для визначення інтервалу коливання коефіцієнта $K_{mP}(\tau)$ у першому наближенні можна використати інформацію про допустимі діапазони коливання фізико-механічних властивостей матеріалів, наведені у відповідних стандартах, що їх регламентують. Діапазони зміни та закони розподілу поправочних коефіцієнтів, що враховують геометричні параметри інструменту, визначаються на основі апріорної інформації про вплив геометричних параметрів різального інструменту на зусилля різання, яку можна отримати з науково-технічної літератури, де відображенні результати відповідних досліджень, наприклад [12–14].

Зусилля, що виникає внаслідок ударних навантажень у зубчастій передачі привода головного руху шпинделя, представлено у вигляді «білого шуму», модель якого сформована у вигляді випадкової послідовності дельта-імпульсів $\delta(\tau_i)$ з випадковими амплітудними значеннями $a(\tau)$:

$$F_{px}^c(\tau) = a(\tau) \sin \alpha \cdot \delta(\tau - \tau_i), \quad F_{py}^c(\tau) = a(\tau) \cos \alpha \cdot \delta(\tau - \tau_i), \quad (13)$$

де α – кут прикладання ударного імпульсу;

τ_i – випадковий момент часу виникнення збурення, с;

$$\delta(\tau - \tau_i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tau = \tau_i \\ 0, & \text{якщо } \tau \neq \tau_i \end{cases}.$$

Нехтуючи внаслідок малості складовою реакцій, обумовленою силами тертя в мастильному шарі, проекції рівнодіючої реакцій мастильного шару в передній ГСО шпинделя у функції полярного кута φ представлено складовою реакції, що обумовлена гідростатичним тиском мастила на опорну шийку шпинделя:

$$R_x = \frac{D_0}{2} \int_0^{2\pi} p(\varphi) \cos \varphi d\varphi, \quad R_y = \frac{D_0}{2} \int_0^{2\pi} p(\varphi) \sin \varphi d\varphi, \quad (14)$$

де D_0 – діаметр опорної частини ГСО, мм;

$p(\varphi)$ – функція розподілу тиску на опорній частині ГСО, МПа.

Функція розподілу тиску $p(\varphi)$ на опорній частині регульованої ГСО визначається подвійним інтегруванням рівняння Рейнольдса та безпосередньо залежить від радіального динамічного зазору $h(\varphi)$, який при одночасному врахуванні похибок форми та зміщень опорних поверхонь, зумовлених їх пружними та температурними деформаціями, описано залежністю:

$$h(\varphi) = \delta_0 - m(\Delta r_T^{em}) - m(\Delta r_T^{uu}) + \frac{T_{kp}^{em} + T_{kp}^{uu}}{2} + \sum_{k=1}^N A_k^{em} \sin(k\varphi + \psi_{0k}^{em}) - \sum_{k=1}^Q A_k^{uu} \sin(k\varphi + \chi_{0k}^{uu}), \quad (15)$$

де $m(\Delta r_T^{em})$, $m(\Delta r_T^{uu})$ – математичні сподівання величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь гідростатичної втулки та шпинделя відповідно, обумовлені температурними деформаціями при певній усталеній температурі, мкм;

δ_0 – радіальний статичний зазор в опорі, мкм;

T_{kp}^{em} , T_{kp}^{uu} – допуски круглості опорних поверхонь підшипника, мкм;

A_k^{em} , ψ_{0k}^{em} , A_k^{uu} , χ_{0k}^{uu} – амплітуди та початкові фази гармонік рядів Фур'є, які описують відхилення опорних поверхонь гідростатичної втулки та шпинделя відповідно, мкм та (0);

N та Q – кількість значимих гармонік профілю опорних поверхонь гідростатичної втулки і шпинделя при певній температурі.

Математичні сподівання величини зміщення радіальної координати $m(\Delta r_T^{em})$, $m(\Delta r_T^{uu})$ профілю опорних поверхонь визначали за результатами чисельного моделювання засобами САЕ-системи SolidWorks Simulation (рис. 3, а, в). Враховуючи випадковий характер теплових деформацій спряжених поверхонь ГСО, аналіз величини та діапазону відхилення температурних зміщень оцінювали за математичним сподіванням $m(\overline{\Delta r})$ та дисперсією $\sigma^2(\overline{\Delta r})$ питомої величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь підшипника (рис. 3, б, г), які є безрозмірними величинами, що характеризують частку температурних зміщень опорних поверхонь у величині радіального зазору ГСО:

$$m(\overline{\Delta r}) = \frac{m(\Delta r_T^{em}) + m(\Delta r_T^{uu})}{\delta_0}, \quad \sigma^2(\overline{\Delta r}) = \frac{\sigma^2(\Delta r_T^{em}) + \sigma^2(\Delta r_T^{uu}) + 2 \text{cov}(\Delta r_T^{em}, \Delta r_T^{uu})}{\delta_0^2}, \quad (16)$$

де $\sigma^2(\Delta r_T^{em})$, $\sigma^2(\Delta r_T^{uu})$ – дисперсії величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь гідростатичної втулки та шпинделя відповідно при певній усталеній температурі;

$\text{cov}(\Delta r_T^{em}, \Delta r_T^{uu})$ – коваріація величин зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь гідростатичної втулки та шпинделя при певній усталеній температурі.

Наведені на рис. 3 залежності показують, що з підвищенням температури величина зміщення опорних поверхонь ГСО, обумовлених температурними деформаціями, зростає. Зі зменшенням величини статичного радіального зазору вплив теплових деформацій при підвищенні температури проявляється значніше і при величині радіального зазору $\delta_0=10$ мкм питома частка зміщень, обумовлених температурними деформаціями, без урахування похибок форми опорних поверхонь становить більше 40 %. Це свідчить про необхідність врахування температурних зміщень опорних поверхонь ГСО при дослідженні впливу їх параметрів на точність ШВ.

Кількість N , Q та амплітуди A_k^{em} , A_k^{uu} гармонік профілю опорних поверхонь ГСО визначали, здійснивши спектральний аналіз їх контуру (рис. 4), побудованого за резуль-

татами чисельного моделювання зміщень радіальної координати профілю опорних поверхонь внаслідок дії температурних та пружних деформацій засобами САЕ-системи SolidWorks Simulation.

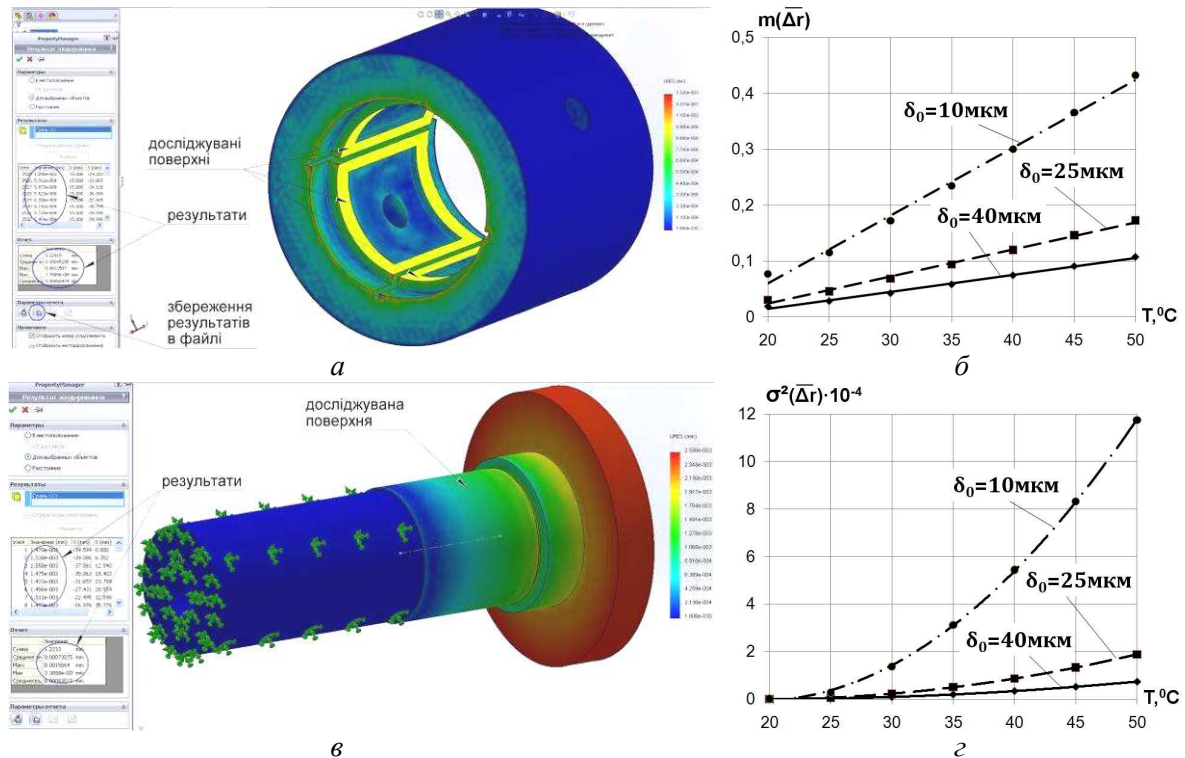


Рис. 3. Відображення результатів моделювання температурних зміщень гідростатичної втулки (а) і шпинделя (в) та залежності математичного сподівання (б) і дисперсії (г) питомої величини зміщення радіальної координати профілю опорних поверхонь ГСО від температури при різних величинах радіального статичного зазору δ_0

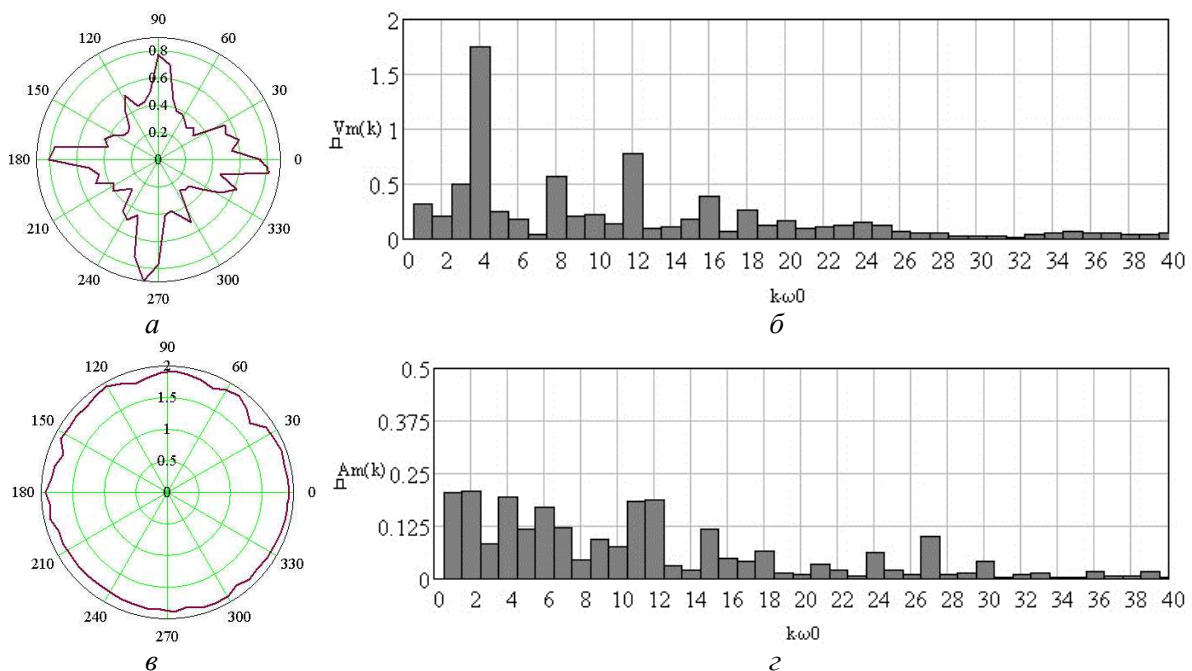


Рис. 4. Температурні зміщення профілю опорних поверхонь гідростатичної втулки (а) та опорної шийки шпинделя (в), апроксимовані в пакеті MathCAD кубічними сплайнами, та типові спектри (б), (г) амплітуд гармонік профілю при $T=35^\circ\text{C}$

Враховуючи всі попередньо здійснені припущення, спрощення та розрахунки, система диференціальних рівнянь, які описують зміщення шпинделя у площині, перпендикулярній його геометричній осі, матиме вигляд:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{d\tau^2} = \chi_c F_{Cx}(\tau) - \chi_F R_x + \chi_R F_{prx}(\tau) + \chi_P P_x(\tau), \\ m \frac{d^2 y}{d\tau^2} = \chi_c F_{Cy}(\tau) - \chi_F R_y + \chi_R F_{pry}(\tau) + \chi_P P_y(\tau) + \chi_G mg. \end{cases} \quad (17)$$

Складові, що входять до правої частини рівнянь системи (17), визначаються за залежностями (6), (7), (11)–(14).

У загальному випадку, враховуючи нелінійність та випадковий характер складових, що входять до правих частин рівнянь, система (17) не має аналітичного розв'язку. Це викликає необхідність застосування чисельного методу її розв'язання.

Для чисельного моделювання траєкторій руху шпинделя застосовано статистичне моделювання методом Монте-Карло [15]. Описання переміщень шпинделя здійснювали радіус-вектором у полярній системі координат:

$$R(\phi_j) = \sqrt{x^2(\tau_j) + y^2(\tau_j)}, \quad (18)$$

де $x(\tau_j)$, $y(\tau_j)$ – координати осі шпинделя в цей момент часу, мкм.

Встановлено, що робочий процес коливальний шпинделя на ГСО є стаціонарним та ергодичним процесом, який має яскраво виражений стохастичний характер у всіх діапазонах варіювання експлуатаційних параметрів та технологічних навантажень. Причому закон розподілу випадкової величини коливальний шпинделя наближений до нормального. Тому оцінювання параметрів траєкторій шпинделя здійснювали за статистичними характеристиками радіус-вектора: математичним сподіванням m_R та середньоквадратичним відхиленням (СКВ) σ_R , які визначають відповідно зміщення та розсіювання положень шпинделя і впливають на точність номінального розміру оброблюваної поверхні.

За результатами чисельного моделювання встановлено, що збільшення тиску в карманах ГСО з 1 МПа до 3 МПа сприяє підвищенню точності обробки, що проявлялося у зменшенні математичного сподівання m_R радіус-вектора траєкторій шпинделя з ідеалізованою формою опорних поверхонь на 30 %, з похибками форми опорних поверхонь – на 20 %. Математичне сподівання величини радіус-вектора траєкторій шпинделя з ідеальною формою опорних поверхонь у 1,2–1,4 рази менше порівняно зі шпинделем, ГСО якого мають геометричні відхилення опорних поверхонь (рис. 5, б). На СКВ радіус-вектора траєкторій відхилення форми опорних поверхонь шпиндельних ГСО практично не впливають (рис. 5, в).

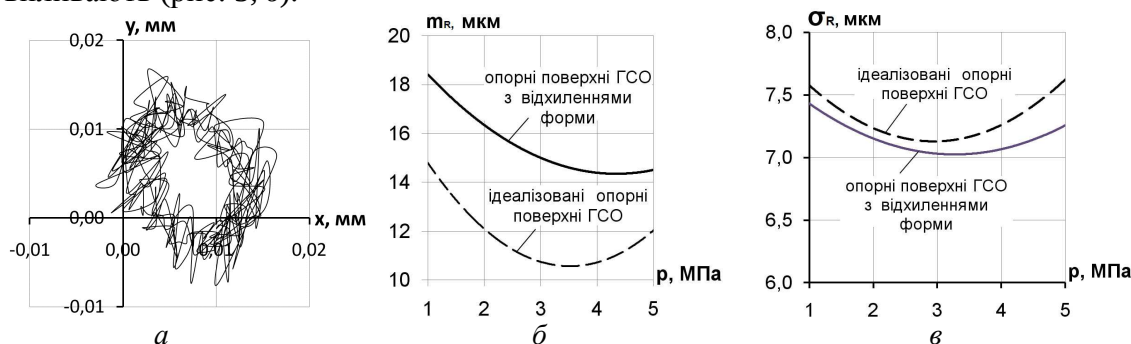


Рис. 5. Типові траєкторії 5 обертів шпинделя (а), математичне сподівання (б) та СКВ (в) величини радіус-вектора траєкторій при регулюванні тиску в карманах ГСО ($n=1500 \text{ хв}^{-1}$, $D_{ст}=4360 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}$)

Типові траєкторії при варіюванні частотою обертання шпинделя при постійному тиску в ГСО $p=3 \text{ МПа}$ та статичному дисбалансі $D_{ст}=4360 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}$ наведено на рис. 6.

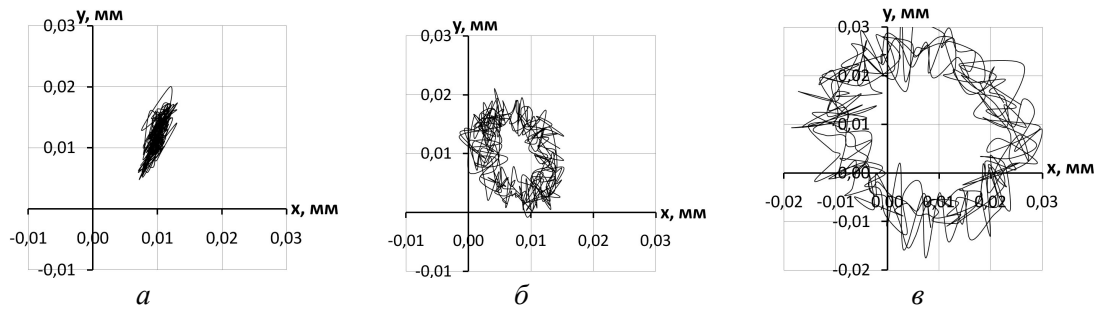


Рис. 6. Типові траєкторії 5 обертів шпинделя при варіюванні частотою обертання: а – $n=600 \text{ хв}^{-1}$; б – $n=1500 \text{ хв}^{-1}$; в – $n=2400 \text{ хв}^{-1}$

Встановлено, що для шпинделя на ГСО з ідеалізованою формою опорних поверхонь математичне сподівання радіус-вектора m_R у діапазоні $n=1500 - 2400 \text{ хв}^{-1}$ зростає в 1,85 раза, у той час як при врахуванні похибок форми опорних поверхонь ГСО m_R зростає в 1,4 раза (рис. 7, а). Зі збільшенням частоти обертання різниця значень математичного сподівання m_R радіус-вектора траєкторій шпинделя для ГСО з відхиленнями форми та ідеальною формою опорних поверхонь зменшується з 40 % при $n = 600 \text{ хв}^{-1}$ до 8 % при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$. Відхилення форми опорних поверхонь ГСО на величину середньоквадратичного відхилення радіус-вектора σ_R впливають при частоті обертання понад 1500 хв^{-1} (рис. 7, б), при цьому зі зростанням частоти обертання вплив похибок форми опорних поверхонь на точність обертання шпинделя стає більш суттєвим.

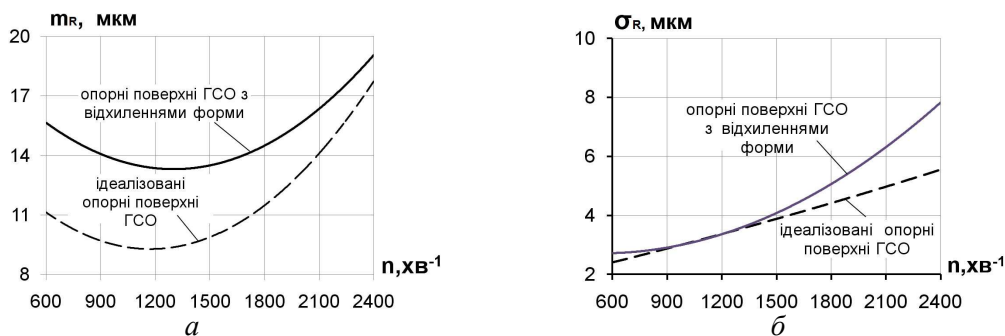


Рис. 7. Математичне сподівання (а) та СКВ (б) радіус-вектора траєкторій при варіюванні частотою обертання шпинделя

Тенденція до зростання статистичних характеристик точності обертання шпинделя при збільшенні частоти обертання обумовлена впливом відцентрової сили інерції, яка пропорційна квадрату кутової швидкості ω обертання шпинделя. Деяке зменшення величини m_R у діапазоні $n=600-1200 \text{ хв}^{-1}$ пояснюється зменшенням величини зусилля різання при зростанні швидкості різання та постійних величинах t_n та S_0 .

У результаті спектрального аналізу частотного складу траєкторій встановлено, що амплітуди гармонік спектрів траєкторій з відхиленням форми опорних поверхонь ГСО шпинделя на 15–60 % більші аналогічних гармонік траєкторій шпинделя з ідеалізованими опорними поверхнями ГСО, що підтверджує суттєвий вплив на точність формують рухів шпинделя точності його опорних поверхонь.

Висновки. Розроблено математичну модель траєкторій руху шпинделя на ГСО, в якій враховано одночасний вплив конструктивних параметрів, геометричних відхилень форми, температурних деформацій опорних поверхонь підшипника, випадкових і детермінованих експлуатаційних параметрів ГСО та технологічних навантажень, що дозволяє підвищити на 30–60 % точність визначення положення шпинделя.

Для аналітичного описання функції зазору $h(\varphi)$ у ГСО запропоновано залежність, в якій одночасно з похибками форми враховано зміщення опорних поверхонь гідростатичної втулки та шпинделя, зумовлені їх температурними деформаціями.

За результатами чисельного моделювання встановлено статистичні закономірності формування геометричної точності токарного верстата за показником точності траєкторій переміщення шпинделя на ГСО залежно від похибок форми опорних поверхонь, технологічних навантажень та експлуатаційних параметрів ГСО.

Встановлено, що врахування похибок форми в поперечному напрямку та температурних деформацій опорних поверхонь гідростатичного підшипника при моделюванні траєкторій руху шпинделя призводить до зростання статистичних характеристик радіус-вектора траєкторій: математичного сподівання – на 30 %, середньоквадратичного відхилення – на 12,5 % порівняно з ідеалізованими опорними поверхнями підшипника.

Перспективним напрямком подальших досліджень є перевірка адекватності встановлених закономірностей експериментальним шляхом.

Список використаних джерел

1. Струтинський В. Б. Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах : монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. – 464 с.
2. Проников А. С. Программный метод испытания металлорежущих станков / А. С. Проников. – М. : Машиностроение, 1985. – 288 с.
3. Пуш А. В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / А. В. Пуш – М. : Машиностроение, 1992. – 286 с.
4. Бушуев В. В. Гидростатическая смазка в станках / В. В. Бушуев. – М. : Машиностроение, 1989. – 176 с.
5. Данчин И. А. Влияние отклонений формы опорных поверхностей гидростатодинамических подшипников на динамические характеристики роторных систем : дис. ... канд. техн. наук : спец. 01.02.06 / И. А. Данчин. – Орел, 2007. – 161 с.
6. Белоусов А. И. Влияние некоторых погрешностей форм вала и обоймы на характеристики гидростатического подшипника / А. И. Белоусов, Т. А. Хромова // Исследование гидростатических подшипников : сб. статей / под ред. Г. С. Скубачевского. – М. : Машиностроение, 1973. – С. 18–28.
7. Кащевский Л. Я. Влияние некруглости шпинделя и отверстия гидростатического подшипника на радиальное биение оси шпинделя / Л. Я. Кащевский // Станки и инструмент. – 1980. – № 12. – С. 27–28.
8. Сахно Є. Ю. Теорія проектування системи зрівноважування шпиндельних вузлів токарних верстатів : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.03.01 / Євгеній Юрійович Сахно. – К. : НТУУ “КПІ”, 2007. – 356 с.
9. Ковальов В. Д. Основи теорії розрахунку та проектування гідравлічних опорних вузлів верстатного устаткування : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.03.01 / Віктор Дмитрович Ковальов. – К. : НТУУ “КПІ”, 2001. – 424 с.
10. Савин Л. А. Моделирование роторных систем с подшипниками жидкостного трения / Л. А. Савин, О. В. Соломин. – М. : Машиностроение, 2006. – 444 с.
11. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки / В. Б. Струтинський. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 612 с.
12. Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 179 с.
13. Лазарев А. Г. Автоколебания при резании металлов / А. Г. Лазарев. – М. : Высшая школа, 1971. – 243 с.
14. Плотников А. Л. Обеспечение надежности определения режимов лезвийной обработки для автоматизированного станочного оборудования на основе оперативной информации о свойствах инструмента и детали : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.03.01 / Александр Леонтьевич Плотников. – Саратов, 2001. – 314 с.
15. Robert, C. P. Monte Carlo Statistical Methods / C. P. Robert, G. Casella. – 2nd edition. – Springer, 2004. – 683 pp.
16. Rubinstein, R. Y. Simulation and the Monte Carlo Method / R. Y. Rubinstein, D. P. Kroese. – 2nd edition. – Wiley, 2007. – 345 p.

УДК 621.822. 43

І.М. Хоменко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ПРО ПОБУДОВУ ЗОВНІШНЬОЇ ШВИДКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА РОЗРАХУНКОВИМ МЕТОДОМ****І.М. Хоменко**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**О ПОСТРОЕНИЕ ВНЕШНЕЙ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ****Ivan Khomenko**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

**ON THE CONSTRUCTION OF EXTERNAL SPEED CHARACTERISTIC
OF A CAR ENGINE BY CALCULATION METHOD**

Наведено метод розрахунку коефіцієнтів С.Р. Лейдермана з використанням коефіцієнтів пристосованості двигуна по крутному моменту й кутовій швидкості колінчастого вала.

Ключові слова: зовнішня швидкісна характеристика, коефіцієнти С.Р. Лейдермана, пристосованості двигуна по крутному моменту й кутовій швидкості колінчастого вала.

Приведен метод расчета коэффициентов С.Р. Лейдермана с использованием коэффициентов приспособленности двигателя по крутящему моменту и угловой скорости коленчатого вала.

Ключевые слова: внешняя скоростная характеристика, коэффициенты С.Р. Лейдермана, приспособленности двигателя по крутящему моменту и угловой скорости коленчатого вала.

In this paper the method of calculation of S.R. Leiderman using the coefficients in adaptation engine torque and angular speed of the crankshaft.

Key words: external speed characteristic, ratios S.R. Leiderman, fitness for engine torque and angular speed of the.

Вступ. Для виконання тягового розрахунку автомобіля перш за все необхідно побудувати зовнішню швидкісну характеристику автомобільного двигуна. Дані для характеристики отримують при проведенні випробувань на спеціальному стенді. При проектних розрахунках двигуна, а також з навчальною метою при побудові зовнішньої швидкісної характеристики використовують розрахунковий метод, запропонований С.Р. Лейдерманом.

До основних показників швидкісної характеристики відносяться: потужність двигуна й крутний момент на його колінчастому валу.

Потужність двигуна впливає на швидкісні якості автомобіля. Чим більша потужність, тим більшу швидкість може розвинути автомобіль.

Крутний момент характеризує здатність автомобіля рухатись по бездоріжжю, долати підйоми, перепони, прискорюватись, набирати необхідну швидкість.

Максимальна потужність і максимальний крутний момент мають місце при різних обертах колінчастого вала. У бензинових двигунів максимальна потужність досягається при 5000...6500 хв⁻¹, а у дизелів – 3000...4000 хв⁻¹ обертів колінчастого вала. Максимум крутного моменту знаходиться в межах 2500–4500 обертів колінчастого вала за хвилину. Стандартна діаграма потужності й крутного моменту має три шкали: шкалу потужності в кіловатах (кВт) або кінських силах, крутного моменту в ньютонметрах (Н·м), кутової швидкості (ω , с⁻¹) або частоти обертання колінчастого вала за хвилину (n, хв⁻¹).

У технічній літературі часто використовується несистемна одиниця потужності – кінська сила. Для переходу від кінської сили до кіловатів необхідно розділити значення першої на 1,36.

Потужність і крутний момент мають складну залежність від кількості обертів колінчастого вала, яка здебільшого виражається графіками, подібними наведеним на рис. 1.

При зростанні частоти обертання колінчастого вала потужність двигуна збільшується з можливим деяким зменшенням після конструктивно встановлених для двигуна номінальних обертів. Крутний момент на колінчастому валу двигуна спочатку зростає до

максимальної величини, а потім зменшується, незважаючи на зростання потужності двигуна.

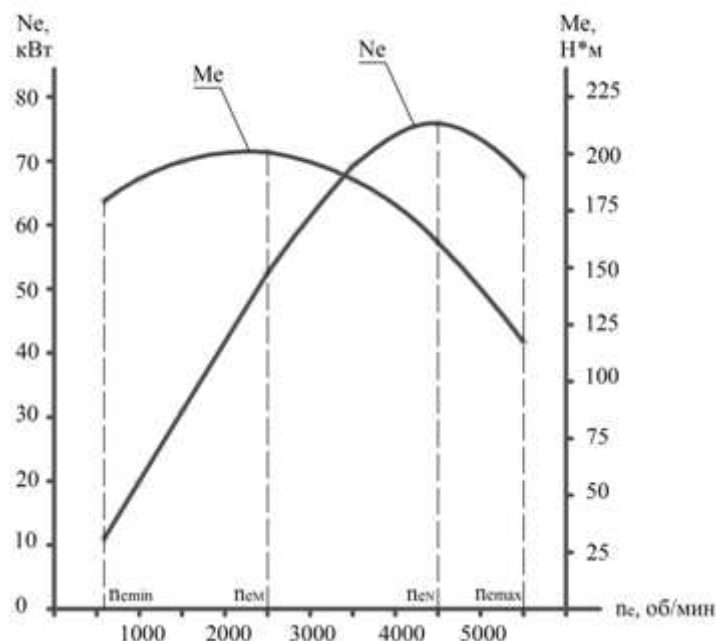


Рис. 1. Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

Залежно від конструкції та регулювання двигуна положення максимуму крутного моменту на діаграмі може бути різним.

Якщо максимум крутного моменту має місце при низьких обертах колінчастого вала, то з таким двигуном зручно їздити по бездоріжжю, долати підйоми, перепони тощо, на середніх обертах – зручно їздити по місту або на трасі. Привертає увагу двигун, графік крутного моменту у якого має максимум у вигляді «полиці» (рис. 2) [1].

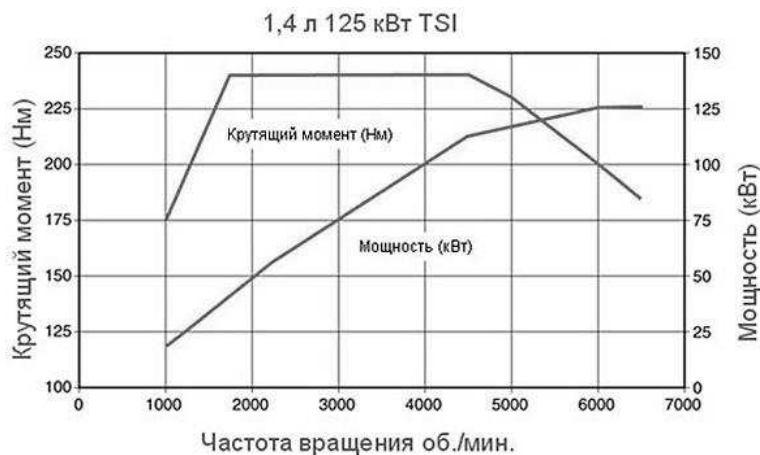


Рис. 2. Зовнішня швидкісна характеристика двигуна TSI

Двигун, графік крутного моменту якого має «полицю», придатний для їзди автомобіля по бездоріжжю, при доланні крутих підйомів, їзді по місту, автотрасі тощо.

Тобто він може розглядатись як універсальний двигун для автомобілів.

Розглянуті особливості крутного моменту двигуна характеризуються так званими коефіцієнтами пристосованості двигуна по крутному моменту і кутовій швидкості колінчастого вала.

Значення потужності й крутного моменту в поточних розрахункових точках визначаються за формулами С. Р. Лейдермана. Значення потужності:

$$N_{\omega} = N_e \cdot \frac{\omega}{\omega_e} \cdot \left[a + b \cdot \frac{\omega}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e} \right)^2 \right], \text{ кВт}, \quad (1)$$

де N_{ω} – поточна потужність двигуна;

N_e – максимальна потужність двигуна;

ω – розрахункова кутова швидкість колінчастого вала;

ω_e – кутова швидкість колінчастого вала при максимальній потужності;

a, b, c – коефіцієнти.

У табл. 1 наведено значення коефіцієнтів a, b, c , залежно від типів двигунів і автомобілів, а в табл. 2 – залежно від типу двигуна.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів a, b, c для двигунів і автомобілів за рекомендаціями [2]

Коефіцієнт	Тип двигуна			
	бензиновий		дизель	
	легкового автомобіля та автобуса	вантажного автомобіля	легкового автомобіля	вантажного автомобіля та автобуса
a	0,9	1,0	0,8	0,7
b	1,1	1,0	1,2	1,3
c	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів a, b, c за рекомендаціями [3]

Двигуни	a	b	c	a1	b1	c1
Бензинові	1	1	1	1,2	1	0,8
Дизелі						
безпосереднє впорскування	0,87	1,4	1	1,55	1,55	1
передкамерні	0,6	1,4	1	1,2	1,2	1
форкамерні	0,7	1,3	1	1,35	1,35	1

Значення крутного моменту:

$$M_{\omega} = M_{Ne} \cdot \left[a + b \cdot \frac{\omega}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e} \right)^2 \right], \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2)$$

де M_{ω}, M_{Ne} – значення крутного моменту при поточній кутовій швидкості і при максимальній потужності відповідно;

$$M_{\omega} = \frac{N_{\omega}}{\omega}; \quad M_{Ne} = \frac{N_e}{\omega_e}.$$

Максимальний крутний момент визначається за формулою:

$$M_{\max} = M_{Ne} \cdot \left[a + b \cdot \frac{\omega_M}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega_M}{\omega_e} \right)^2 \right], \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3)$$

де ω_M – кутова швидкість колінчастого вала при максимальному крутному моменту.

Як видно з табл. 1 і 2, значення коефіцієнтів a, b, c суттєво відрізняються і не мають фізичного обґрунтування. Вибираючи значення коефіцієнтів Лейдермана, доцільно встановити зв'язок між коефіцієнтами пристосованості двигуна і вказаними коефіцієнтами.

Методи і результати. Позначимо в (2) $k_M = \frac{M_{\max}}{M_{Ne}} = \left[a + b \cdot \frac{\omega_M}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega_M}{\omega_e} \right)^2 \right]$ і

$k_\omega = \frac{\omega_M}{\omega_e}$ – відповідно коефіцієнти пристосованості двигуна по моменту і кутовій швидкості обертання колінчастого вала. Тоді з (2) отримаємо:

$$k_M = \left[a + \frac{b}{k_\omega} - \frac{c}{k_\omega^2} \right]. \quad (4)$$

Із (2), враховуючи, що при $\omega = \omega_M$ $\frac{dM}{d\omega} = M_{Ne} \cdot \left(\frac{b}{\omega_e} - \frac{c \cdot 2\omega_M}{\omega_e^2} \right) = 0$, отримаємо:

$$b \cdot \omega_e - 2c \cdot \omega_M = 0. \quad (5)$$

Із останнього рівняння знаходимо:

$$k_\omega = \frac{2c}{b}. \quad (6)$$

При $\omega = \omega_e$ із рівняння (1) отримаємо:

$$a + b - c = 1. \quad (7)$$

Розрахункові значення $k_{пр} = k_M \cdot k_\omega$ для бензинових двигунів знаходяться в межах $k_{пр} = 1,25 \dots 1,35$; для карбюраторних – коефіцієнт пристосованості дорівнює $1,2 \dots 1,4$; для дизелів – $1,05 \dots 1,15$.

У табл. 3 наведено значення коефіцієнтів пристосованості для сучасних автомобільних двигунів.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів пристосованості для автомобільних двигунів

Двигун	N_e при ω_e (кВт, с ⁻¹)	M_{Ne} , Н·м	$M_{\max}$ при ω_M	$N_{M\max}$, кВт	k_M	k_ω
K20A (Honda)	113 / 680	167 / 680	186 / 419	78 / 419	1,11	1,62
BMW523i	130 / 607	79 / 607	230 / 366	84 / 366	2,91	1,66
Mercedes E 200	120 / 576	69 / 576	240 / 314	76 / 314	3,48	1,83
1G-FE VVTI	118 / 649	77 / 649	200 / 353	57 / 353	2,60	1,84

Розв'язуючи систему рівнянь (4), (6), (7), знаходимо значення коефіцієнтів Лейдермана, виражених через коефіцієнти пристосованості:

$$a = \frac{1 + k_M \cdot k_\omega \cdot (k_\omega - 2)}{(1 - k_\omega)^2}; \quad (8)$$

$$b = \frac{2 \cdot k_\omega \cdot (k_M - 1)}{(1 - k_\omega)^2}; \quad (9)$$

$$c = \frac{k_\omega^2 \cdot (k_M - 1)}{(1 - k_\omega)^2}. \quad (10)$$

На рис. 3 наведено алгоритм визначення коефіцієнтів, а в табл. 4 значення коефіцієнтів з урахуванням умови $a + b - c = 1$.

$$\begin{aligned}
 N &:= 8 & i &:= 0..N & j &:= 0..N & km_i &:= 1.1 + 0.1 \cdot i & k\omega_j &:= 1.1 + 0.1 \cdot j \\
 a(km, k\omega) &:= \frac{1 + km \cdot k\omega (k\omega - 2)}{(1 - k\omega)^2} & b(k\omega, km) &:= \frac{2 \cdot k\omega (km - 1)}{(1 - k\omega)^2} & c(k\omega, km) &:= \frac{k\omega^2 \cdot (km - 1)}{(1 - k\omega)^2} \\
 f_{1,i,j} &:= b(k\omega_j, km_i) & f_{2,i,j} &:= c(k\omega_j, km_i) & f_{i,j} &:= a(km_i, k\omega_j)
 \end{aligned}$$

Рис. 3. Алгоритм визначення коефіцієнтів a, b, c

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів a, b, c згідно з формулами (8), (9), (10)

a	-8,9	-3,8	-2,033	-1,1	-0,5	-0,067	0,271	0,55	0,789
b	22	12	8,6677	7	6	5,333	4,857	4,5	4,222
c	12,1	7,2	5,633	4,9	4,5	4,267	4,129	4,05	4,011

На рис. 4 наведено алгоритм розрахунку, а на рис. 5 – чисельні значення потужності (N) і моменту (M), а також їх графіки для $a = -0,5$; $b = 6$; $c = 4,5$.

$$\begin{aligned}
 Ne &:= 10 \cdot 10^4 & \omega_e &:= 600 & i &:= 0..8 & \omega_i &:= 100 + 70 \cdot i \\
 a &:= -0.5 & b &:= 6 & c &:= 4.5 \\
 N(\omega) &:= Ne \cdot \frac{\omega}{\omega_e} \cdot \left[a + b \cdot \frac{\omega}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e} \right)^2 \right] & N_i &:= N(\omega_i) \\
 M(\omega) &:= \frac{Ne}{\omega_e} \cdot \left[a + b \cdot \frac{\omega}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e} \right)^2 \right] & M1(\omega) &:= 10^2 \cdot M(\omega) & M_i &:= M(\omega_i) \\
 M1_i &:= M1(\omega_i)
 \end{aligned}$$

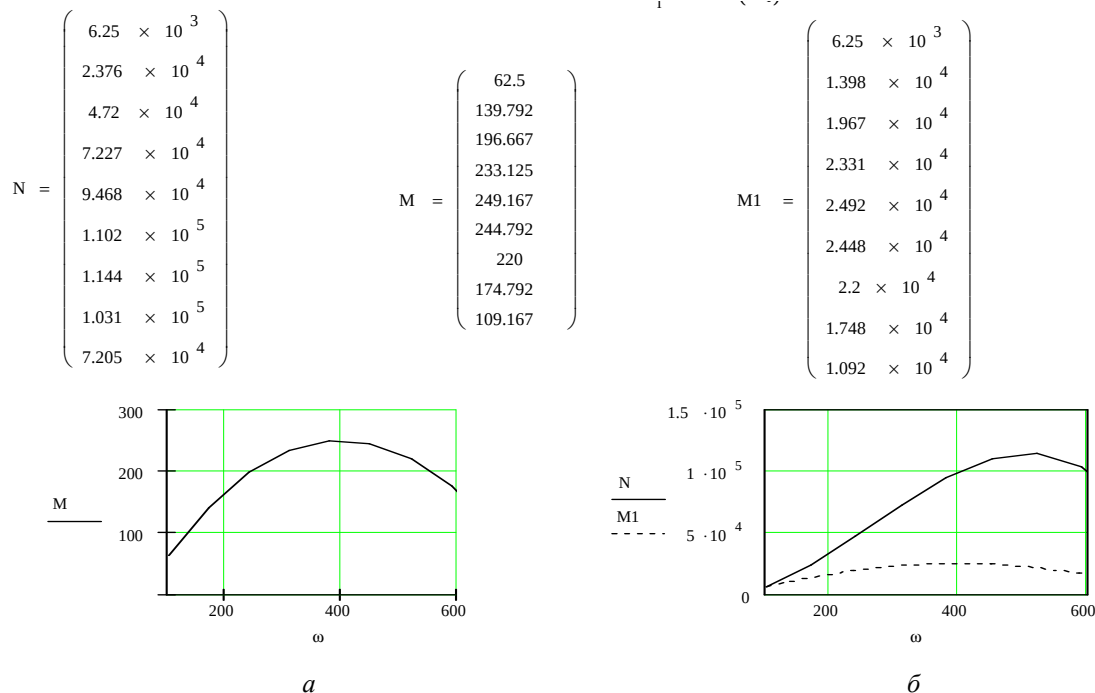
Рис. 4. Алгоритм визначення потужності й крутного моменту двигуна при значеннях коефіцієнтів $a = -0,5$; $b = 6$; $c = 4,5$ 

Рис. 5. Залежності крутного моменту (а) і потужності й крутного моменту (б) від кутової швидкості колінчастого вала двигуна (на рис. 5, б по осі ординат використано одну шкалу, тому значення крутного моменту збільшено в 100 разів – нанесено пунктиром)

На рис. 6 наведено алгоритм розрахунку, а на рис. 7 – чисельні значення потужності (N) і моменту (M), а також їх графіки для $a = -3,8$; $b = 12$; $c = 7,2$.

$$Ne := 10 \cdot 10^4 \quad \omega_e := 600 \quad i := 0..8 \quad \omega_i := 100 + 70 \cdot i \quad a := -3,8 \quad b := 12 \quad c := 7,2$$

$$N(\omega) := Ne \cdot \frac{\omega}{\omega_e} \cdot \left[a + b \cdot \frac{\omega}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e} \right)^2 \right] \quad M(\omega) := \frac{Ne}{\omega_e} \cdot \left[a + b \cdot \frac{\omega}{\omega_e} - c \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e} \right)^2 \right]$$

$$N_i := N(\omega_i) \quad M1(\omega) := 10^2 \cdot M(\omega) \quad M_i := M(\omega_i) \quad M1_i := M1(\omega_i)$$

Рис. 6. Алгоритм визначення потужності й крутного моменту двигуна при значеннях коефіцієнтів $a = -3,8$; $b = 12$; $c = 7,2$

$$N = \begin{pmatrix} -3.333 \times 10^4 \\ -2.771 \times 10^4 \\ -6.08 \times 10^3 \\ 2.47 \times 10^4 \\ 5.776 \times 10^4 \\ 8.625 \times 10^4 \\ 1.033 \times 10^5 \\ 1.021 \times 10^5 \\ 7.568 \times 10^4 \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} -333.333 \\ -163 \\ -25.333 \\ 79.667 \\ 152 \\ 191.667 \\ 198.667 \\ 173 \\ 114.667 \end{pmatrix} \quad M1 = \begin{pmatrix} -3.333 \times 10^4 \\ -1.63 \times 10^4 \\ -2.533 \times 10^3 \\ 7.967 \times 10^3 \\ 1.52 \times 10^4 \\ 1.917 \times 10^4 \\ 1.987 \times 10^4 \\ 1.73 \times 10^4 \\ 1.147 \times 10^4 \end{pmatrix}$$

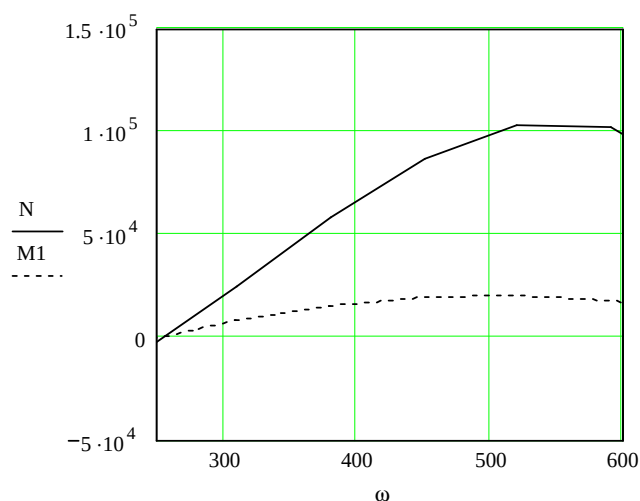


Рис. 7. Залежності крутного моменту (пунктирна лінія) й потужності (суцільна лінія) від кутової швидкості колінчастого вала двигуна

Із чисельних значень і графіків, наведених на рис. 5, встановлюємо, що максимальна потужність двигуна становить 114 кВт при $\omega_e = 520 \text{ с}^{-1}$ і максимальний крутний момент – 250 Н·м при $\omega_M = 380 \text{ с}^{-1}$. Коефіцієнти пристосованості: по крутному моменту $k_M = 1,14$; по частоті обертання колінчастого вала $k_\omega = 1,37$; загальний коефіцієнт пристосованості $k_{np} = 1,56$, що відповідає наведеним вище чисельним і графічним (рис. 1) даним для бензинових двигунів.

Аналогічні чисельні і графічні дані, наведені на рис. 7, наступні:

максимальна потужність двигуна становить 103 кВт при $\omega_e = 590 \text{ c}^{-1}$ і максимальний крутний момент – 199 Н·м при $\omega_m = 520 \text{ c}^{-1}$. Коефіцієнти пристосованості: по крутному моменту $k_m = 1,15$; по частоті обертання колінчастого вала $k_\omega = 1,13$; загальний коефіцієнт пристосованості $k_{np} = 1,3$, що також відповідає наведеним вище чисельним і графічним (рис. 1) даним для автомобільних двигунів. У діапазоні кутової швидкості.

$\omega = 520...590 \text{ c}^{-1}$ максимальна потужність двигуна становить 102...103 кВт, а при $\omega = 450...520 \text{ c}^{-1}$ максимальний крутний момент – 192...199 Н·м, що свідчить у цьому випадку про наявність «полиці» на зовнішній швидкісній характеристиці у наведених діапазонах кутової швидкості.

На графіку, наведеному на рис. 2, «полицю» отримано в реальній конструкції завдяки використанню турбонаддуву. Якоюсь мірою подібного ефекту можна досягти, змінюючи робочий об'єм циліндра, регулюванням фаз газорозподілу тощо.

Висновки. При побудові розрахункових зовнішніх швидкісних характеристик двигунів внутрішнього згоряння використовують метод С.Р. Лейдермана. При цьому у формулах для визначення потужності двигуна й крутного моменту залежно від кутової швидкості колінчастого вала рекомендується використовувати коефіцієнти, які не мають фізичного обґрунтування.

Показана доцільність розрахунку значень коефіцієнтів Лейдермана через коефіцієнти пристосованості двигуна по моменту і кутовій швидкості обертання колінчастого вала.

Список використаних джерел

1. *Режим доступу* : <https://www.google.com.ua/search?q=TSI&espv>.
2. *Сирота В. І.* Автомобілі. Основи конструкції, теорія : навчальний посібник / В. І. Сирота, В. П. Сахно. – К. : Арістей, 2007. – 288 с.
3. *Режим доступу* : forest.petrstu.ru/courses/pump/.../_Pump1.htm.

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.01.6

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

М.М. Руденко, старш. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ З ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ У ПРОЦЕСАХ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ (ОГЛЯД)

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

М.Н. Руденко, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ В ПРОЦЕССАХ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ (ОБЗОР)

Maksym Bolotov, PhD Technical Sciences

Mykhailo Rudenko, senior teacher

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

APPLICATION OF GLOW DISCHARGE WITH HOLLOW CATHODE IN PROCESSES OF SURFACE TREATMENT OF METALS (REVIEW)

Розглянуто умови поверхневої хіміко-термічної обробки у плазмі тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді. Показано основні режими азотування з метою зміцнення поверхонь конструкційної сталі 13Х11Н2В2МФ та технічного титану ВТ1-0. Наведено результати впливу неоднорідної плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, на структурні та міцнісні показники поверхонь, що обробляються.

Ключові слова: тліючий розряд, порожнистий катод, азотування, неоднорідна плазма, макронеоднорідна структура.

Рассмотрены условия поверхностной химико-термической обработки в плазме тлеющего разряда, горящего в полой катоде. Показаны основные режимы процесса азотирования с целью упрочнения поверхностей конструкционной стали 13Х11Н2В2МФ и технического титана ВТ1-0. Приведены результаты влияния неоднородной плазмы тлеющего разряда, горящего в полой катоде, на структурные и прочностные показатели обрабатываемых поверхностей.

Ключевые слова: тлеющий разряд, полый катод, азотирование, неоднородная плазма, макронеоднородная структура.

The conditions of the surface chemical and heat treatment in a plasma of glow discharge, burning in the hollow cathode. The basic modes of nitriding process with the aim of strengthening the structural steel surfaces 13H11N2V2MF and technical titanium VT1-0. The results of the influence of inhomogeneous plasma glow discharge, burning in the hollow cathode structural and strength properties of machined surfaces.

Key words: glow discharge, hollow cathode, nitriding, plasma inhomogeneity, macroinhomogeneity structure.

Постановка проблеми. Працездатність деталей машин та механізмів значною мірою визначається станом робочої поверхні, а саме здатністю поверхонь у сполучених парах тертя протистояти зносу.

Нині для підвищення твердості, міцності та зносостійкості широкого застосування у промисловості набули методи термічної та хіміко-термічної обробки із застосуванням газорозрядної плазми (іонна обробка у тліючому розряді, обробка дуговим розрядом). Однак застосування того чи іншого способу не завжди дозволяє забезпечити необхідні властивості поверхневого шару, та й техніко-економічна доцільність їх використання викликає значні сумніви.

Застосування дугового розряду у процесах поверхневої обробки металів знайшло широке впровадження внаслідок певних технологічних особливостей, а саме низької напруги горіння дуги, високого значення розрядних струмів та широкого діапазону тисків, при яких він запалюється та стабільно горить. Однак наявність у плазмі, що генерується дуговим розрядом, значної кількості мікрокрапель матеріалу, що розпилюється розжареним катодом, дещо обмежує використання його у процесах модифікування поверхонь.

Останнім часом все більший розвиток та застосування отримують методи іонної обробки у тліючому розряді, які дозволяють регулювати технологічні параметри процесу у широкому інтервалі режимів, володіють досить високою швидкістю насичення, мають високий клас чистоти поверхні та велику економічність процесу за рахунок значного скорочення часу обробки тощо. Однак процес протікає при досить високих тисках 10...1000 Па і тому внаслідок значного теплового впливу на деталі, що обробляються, може спостерігатися зміна мікроструктури, значний ріст зерна і, як наслідок, зменшення міцності основи зразків, що в багатьох випадках неприпустимо.

Водночас є доцільним використання як джерела нагріву для поверхневої обробки металів тліючого розряду, що генерується в порожнистому катоді. Це дозволяє значно підвищити енергетичну ефективність процесу, знизити робочий тиск, понизити напругу запалювання та стабільного горіння розряду, скоротити загальний час процесу нагріву та охолодження деталей, що обробляються, знизити витрати робочого газу тощо.

Мета роботи. Метою роботи є систематизувати інформацію стосовно застосування неоднорідної плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді в умовах хіміко-термічної обробки матеріалів з метою поверхневого їх зміцнення.

Виклад основного матеріалу. Вперше можливість нагрівання тліючим розрядом з порожнистим катодом була показана англійським ученим В. Круксом ще у 1879 році. Він виявив, що від катода тліючого розряду поширюються частки (електрони), що володіють великою енергією. Він також показав, що їх можна концентрувати, використовуючи для цього не плоский, а порожнистий катод. У місці фокусування виділяється велика кількість тепла. Схема експериментального приладу Крукса показана на рис. 1.

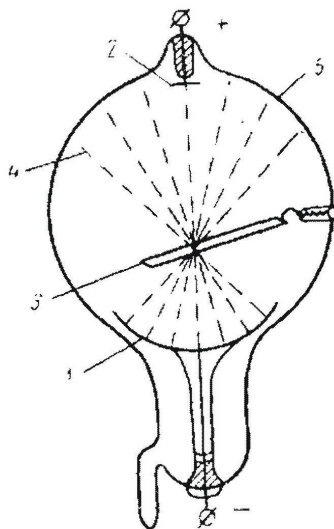


Рис. 1. Схема експериментального приладу Крукса: 1 – катод; 2 – анод; 3 – пластина платини; 4 – траєкторія руху електронів; 5 – скляна колба

На основі експериментального приладу Крукса в 60-х роках минулого століття у Харуельській лабораторії термоядерних проблем (Велика Британія) було створено пристрій для теплової обробки металів на основі тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді. Схема пристрою наведена на рис. 2. В обох приладах тепловий ефект досягається при гальмуванні на зразку, що обробляється, швидких електронів, розігнаних у зоні темного катодного простору, що прилягає до напівсферичних сегментів катода [1]. Концентровані фокусуючою системою пучки електронів, які несуть у собі велику енергію, гальмуючись на поверхні будь-якого твердого тіла ефективно передають йому свою енергію у вигляді тепла. Цей процес лежить в основі застосування електронно-променевих гармат для різного роду термічної обробки матеріалів.

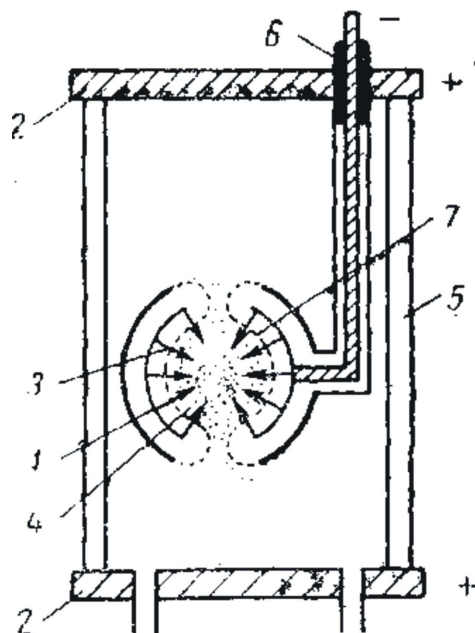


Рис. 2. Схема пристрою для термічної обробки матеріалів у тліючому розряді з порожнистим катодом: 1 – катод; 2 – анод; 3 – траєкторія руху електронів; 4 – плазма; 5 – скляний циліндр; 6 – ізолятор; 7 – границя негативного тліючого світіння

На сьогодні тліючий розряд з порожнистим катодом досить широко застосовується у процесах поверхневої обробки.

Відомі роботи [2; 3] по іонному азотуванню високолегованих конструкційних сталей у неоднорідній плазмі тліючого розряду із порожнистим катодом. У роботах показано, що при азотуванні в неоднорідній плазмі тліючого розряду конструкційної сталі 13X11H2B2MФ при тиску $P=300$ Па, $I=600$ мА, $U=650$ В, у суміші газів азоту, аргону та ацетилену (N_2 50 % + Ar 25 % + C_2H_2 25 %) протягом часу $t=4$ години температура поверхонь, що обробляється, не перевищує 550 °С. Зразки, що азотуються, також попередньо піддавалися іонному очищенню при тисках $P=50$ Па, $I=0,2$ А, $U=650$ В, у процесі катодного розпилення поверхні температура не перевищувала $T=250$ °С. Час очистки становив 15 хвилин.

У результаті, крім загального зміцнення поверхні сталі (вихідна мікротвердість сталі становила $H_v=4730$ МПа, після азотування величина мікротвердості зросла до $H_v=11500$ МПа), відбувається також зонне зміцнення, на поверхні формується характерний макрорельєф з вираженою границею розділу.

У роботі [4] наведені результати азотування технічного титану ВТ1-0 у несамоістному тліючому розряді із порожнистим катодом у суміші робочих газів (N_2 -Ar, N_2 -He, N_2 -Ne). Експериментальна схема наведена на рис. 3.

Експериментально показано, що процес азотування технічного титану у плазмі несамоістного тліючого розряду з порожнистим катодом здійснюється з високою ефективністю при відносно низьких температурах (до 600 °С) та низьких тисках (2-4 Па), що приблизно в 3–4 рази менше в порівнянні з азотуванням у тліючому розряді з одним плоским катодом. Встановлено, що величина мікротвердості зразків зростає з підвищенням щільності катодного струму, напруги горіння розряду та температури зразків. Так, підвищення температури азотування на 300 °С призвело до підвищення показників мікротвердості більш ніж у двічі. Параметри режиму обробки та результати наведені в табл.

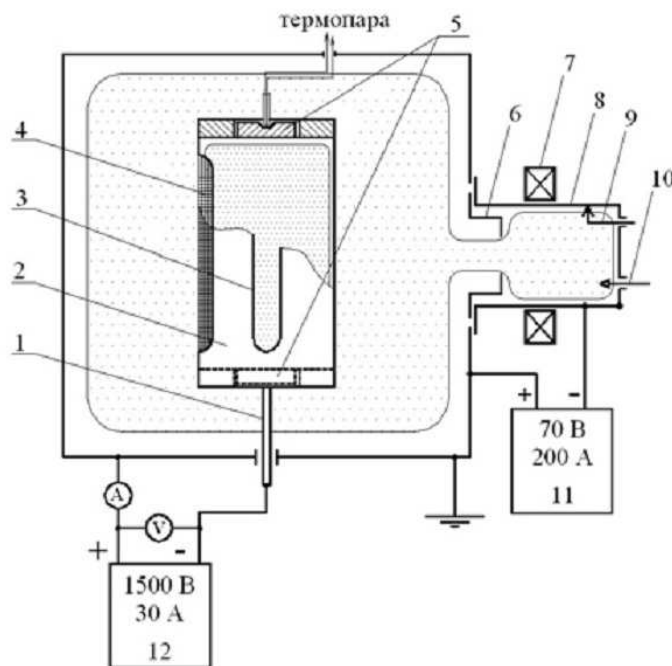


Рис. 3. Експериментальна схема азотування технічного титану VT1-0 у плазмі несамостійного тліючого розряду з порожнистим катодом: 1 – тримач; 2 – порожнистий катод; 3 – вікно; 4 – вікно з дрібно структурною сіткою; 5 – зразки, що обробляються; 6 – дугогасник; 7 – магнітна котушка; 8 – порожнистий катод; 9 – підпалюючий пристрій; 10 – ввід газу; 11 – джерело живлення дугового розряду; 12 – джерело живлення тліючого розряду

Таблиця

Значення параметрів азотування та величини мікротвердості поверхонь зразків

$P_{\text{смеси}}, \text{Па}$	$T, ^\circ\text{C}$	$U_p, \text{кВ}$	$j, \text{мА/см}^2$	$HV_{0,5}, \text{ГПа}$	HV/HV_0
3,9	850	1,4	4,0	14,0	4,7
2,8	650	1,4	3,9	8,2	2,7
2,1	550	1,0	1,9	6,4	2,1

Висновки

1. Показана принципова можливість застосування тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, у процесах поверхневої обробки металів.
2. Встановлено, що іонне азотування у плазмі тліючого розряду з порожнистим катодом дозволяє здійснювати структурно-фазове модифікування сталей та їх сплавів.
3. Встановлено, що в результаті обробки, крім загального зміцнення поверхні сталі (вихідна мікротвердість сталі становила $H_v=4730$ МПа, після азотування величина мікротвердості зросла до $H_v=11500$ МПа), відбувається також зонне зміцнення, на поверхні формується характерний макрорельєф з вираженою границею розділу.
4. Встановлено, що величина мікротвердості зразків зростає з підвищенням щільності катодного струму, напруги горіння розряду та температури зразків.

Список використаних джерел

1. Москалев Б. И. Разряд с полым катодом / Б. И. Москалев. – М. : Энергия, 1969. – 183 с.
2. Рамазанов К. Н. Ионное азотирование в неоднородной плазме тлеющего разряда / К. Н. Рамазанов, Д. З. Ишмухаметов, Н. С. Садаков // Вестник УГАТУ. – 2011. – № 3. – С. 67–71.
3. Шехтман С. Р. Использование разряда с полым катодом для обработки поверхности конструкционных материалов / С. Р. Шехтман, В. В. Будилов, Р. М. Киреев // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 2. – С. 31–35.
4. Азотирование технически чистого титана в тлеющем разряде с полым катодом / Ю. Х. Ахмадеев, Ю. Ф. Иванов, И. М. Гончаренко, Н. Н. Коваль // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т. 31, вып. 13. – С. 24–30.

УДК 621.791.4

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

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Є.В. Половецький, канд. техн. наук

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

ПРЕЦИЗИЙНЕ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ТОЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

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

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Е.В. Половецкий, канд. техн. наук

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

ПРЕЦИЗИОННАЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

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

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Yevhen Polovetskyi, PhD in Technical Sciences

Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

HIGH-PRECISION ELECTROCONTACT SPOT WELDING OF METALLIC MATERIALS

Проведено аналіз наявних способів зниження рівня пластичної деформації основних матеріалів при електроконтактному точковому зварюванні. Показано, що найбільш ефективним засобом зниження рівня деформації є локалізація теплової енергії у вузькій приконтактній зоні. Встановлено, що доцільним при цьому є використання багатопшарових прошарків зі зварювального матеріалу.

Ключові слова: електроконтактне точкове зварювання, пластична деформація, багатопшарові прошарки, локалізація теплової енергії.

Проведен анализ существующих способов снижения уровня пластической деформации основных материалов при электроконтактной точечной сварке. Показано, что наиболее эффективным средством снижения уровня деформации является локализация тепловой энергии в узкой приконтактной зоне. Установлено, что целесообразным при этом есть использование многослойных прослоек из сварочного материала.

Ключевые слова: электроконтактная точечная сварка, пластическая деформация, многослойные прослойки, локализация тепловой энергии.

The analysis of current methods of reduction of level of plastic strain of basic materials during the electrocontact spot welding was carried out. The localization of thermal energy in the narrow surface-contact zone for the most effective reduction of the level of plastic strain was shown. Expediency of the use of the laminated layers which are made of the welded material was established.

Key words: electrocontact spot welding, plastic strain, laminated layers, localization of thermal energy.

Постановка проблеми. Деформація має вирішальне значення при виробництві виробів найбільш розповсюдженим способом зварювання тиском – електроконтактним точковим зварюванням, яке супроводжується деформацією у стику (вм'ятини у точці), що досягає 20 % товщини деталі. Це призводить до зниження площі перерізу зварного з'єднання та, як наслідок, зменшення його міцності. Є багато способів зниження зварювальних деформацій при електроконтактному точковому зварюванні, які потребують застосування допоміжного обладнання або негативно впливають на властивості та структуру зварного з'єднання. На сьогодні сучасна теорія фізико-хімічних основ зварювання тиском не може повною мірою визначити безпосередніх критеріїв технологій зварювання з мінімальним рівнем пластичної деформації. Тому пошук нових ефективних засобів для прецизійного електроконтактного точкового зварювання є актуальним.

Метою цієї роботи є аналіз наявних способів зниження рівня пластичної деформації при електроконтактному точковому зварюванні металевих матеріалів та пошук найбільш ефективних засобів для прецизійного електроконтактного зварювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прецизійне електроконтактне зварювання – це різновид електроконтактного зварювання, коли з'єднання утворюється із залишковою пластичною деформацією, що не перевищує 2 % товщини деталі. Є багато способів зниження зварювальних деформацій при електроконтактному точковому зварюванні [1–9]. Найбільш розповсюдженим є багатоімпульсне зварювання, яке потребує виконання трьох умов [3; 4]:

- процес стискання деталей необхідно вести з критичною швидкістю – без деформаційного зміцнення приконтактного шорсткого шару та, в ідеалі, з його розплавленням;
- зварювання слід вести з мінімальним проплавленням, що забезпечує локальність нагріву в межах до 0,25 товщини деталей, що зварюються, для чого необхідно локалізувати тепловиділення тільки на опорі контакту між деталями;
- для збереження високої швидкості зварювання середня гомологічна температура в контакті має бути не менше 0,9.

При малому об'ємі розплавленого металу різко скорочується теплове розширення в контакті деталь-деталь і зникає головна причина утворення проміжку між деталями. При малому об'ємі литого ядра різко зменшуються усадкові явища.

Для запобігання виплеску, внаслідок зниження зусилля стискання і збільшення тепловиділення в контакті, енергію подають дозованими імпульсами, при цьому їх число має бути достатнім для того, щоб отримати надійне мінімально допустиме проплавлення (рис. 1).

У разі необхідності зменшення вм'ятин від електродів з однієї сторони зварного виробу також використовується один із прийомів безслідного зварювання: збільшення робочої поверхні одного з електродів, зварювання на плоскому електроді, введення проміжної пластини з мідних сплавів між одним з електродів і деталлю та інші способи. При цьому щільність струму, необхідна для забезпечення концентрованого нагріву, створюється другим електродом з робочою поверхнею нормального розміру [1; 2].

Додаткове кільцеве обтискання деталей (рис. 2) навколо електродів сприяє перешкодженню деформації металу в зазор між двома деталями [4].

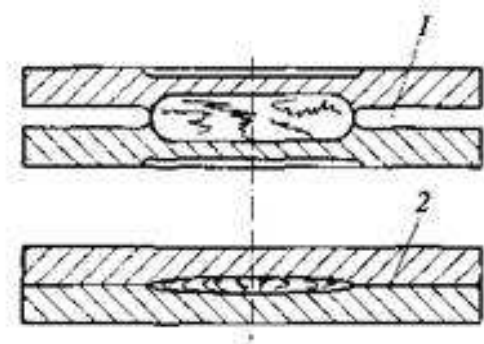


Рис. 1. Залежність проміжку між деталями і розміру ядра точки від величини деформації при класичному (1) і прецизійному (2) контактному зварюванні

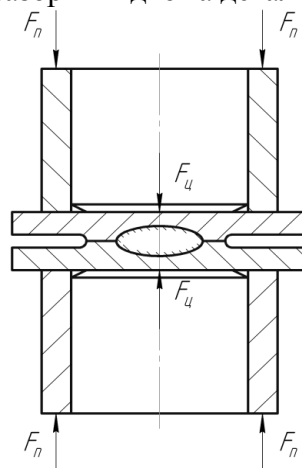


Рис. 2. Схема обтискання деталей при прецизійному електроконтактному зварюванні

Цей метод є досить ефективним, однак потребує удосконалення з метою підвищення стійкості електрода до забруднення, а також створення надійних і компактних універсальних електродних пристроїв для кільцевого обтискання точок.

Оскільки процес пластичної деформації нерозривно пов'язаний з процесом нагріву, то для обмеження впливу нагріву можна використати тепловий екран (рис. 3), який забезпечить зменшення тепловідводу в зоні електрод-деталь [3; 4].

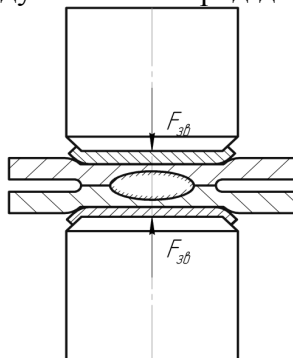


Рис. 3. Схема електродного точкового зварювання з використанням теплового екрана

За рахунок цього в контакт електрод-деталь виділятиметься більша кількість теплоти і в подальшому це позитивно впливатиме на процес оплавлення. Таким чином, екран служить додатковим джерелом тепла і за рахунок його більшої площі у порівнянні з площею поверхні електрода, навантаження на деталі зменшиться, зменшуючи при цьому деформації. Однак використання теплових екранів знижує продуктивність зварювання та підвищує енерговитрати.

У роботах [7; 8] для локалізації теплової енергії та пластичної деформації у стику запропоновано використання проміжного прошарку (рис. 4) з матеріалу, який має високий питомий електричний опір, що дозволяє збільшити температуру в контакт електрод-деталь, зменшити час нагріву та зменшити рівень залишкових деформацій у зоні деталь-деталь за рахунок зниження об'єму розплавленого металу, а також за рахунок взаємодії й утворення зв'язків між матеріалом проміжного шару та основним металом. Для цього не обов'язково використовувати суцільний матеріал. Проміжний прошарок може бути у вигляді порошкового матеріалу, напиленого шару або перфорованим, що збільшує його питомий електричний опір.

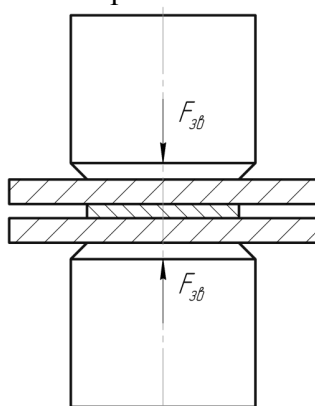


Рис. 4. Схема електродного точкового зварювання з використанням проміжного прошарку

Хімічний склад прошарку вибирається залежно від роду матеріалів, що зварюються. Товщина прошарку може бути різною, але достатньою для проведення нагріву, з частковим або повним розплавленням як деталі, так і прошарку, та утворення зварної точки. При цьому прошарок може цілком змінювати свій хімічний склад за рахунок хімічної взаємодії або зберігатися у стику.

Також проміжний шар може бути використаний як прошарок, який активує поверхні за рахунок утворення тонкого шару евтектики при температурі нижче температури плавлення основного металу, що обумовлює диспергування оксидної плівки, а прикладання незначного тиску приводить до витиснення шару евтектики зі стику разом з оксидною плівкою та утворення з'єднання, у тому числі і в твердій фазі.

Авторами роботи [5] запропоновано використання обмежувальних пристосувань для зниження рівня деформації основних металів. Суть цього методу полягає у використанні пристосування (рис. 5) з неелектропровідного матеріалу, який буде утримувати деталі так, що деформації, які виникають під час зварювання деталей, будуть неможливі.

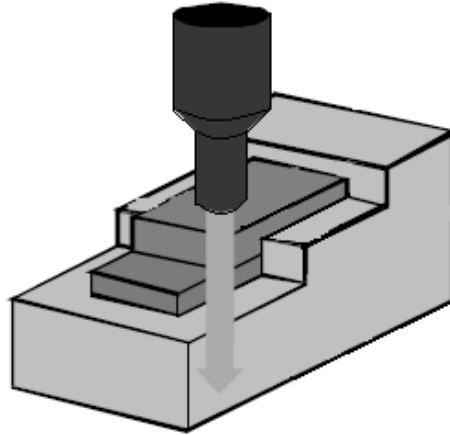


Рис. 5. Схема пристосування, що обмежує деформацію основного металу

Таке пристосування дозволяє зменшити витік рідкого металу із зони зварювання і тим самим зменшити залишкові деформації. Недоліком цього пристосування є неможливість повного усунення витоку або виплеску рідкого металу із контакту електрод-деталь.

Авторами роботи [6] розроблено нову технологію контактного зварювання алюмінію зі сталлю стосовно виготовлення біметалевих перехідників струмопровідних шин великого перерізу. В розробленому способі активація контактних поверхонь відбувається рідкою фазою, що дозволяє зменшити температуру, час зварювання, а також пластичну деформацію. Для цього застосовуються дрібнодисперсні активатори (порошки кремнію, міді або цинку), які додаються до зварювального флюсу з метою утворення евтектики при температурі нижче температури плавлення алюмінію.

Таким чином, на сьогодні існують такі способи зниження зварювальних деформацій при електроконтактному точковому зварюванні, які забезпечують утворення з'єднання із залишковою пластичною деформацією, що не перевищує 2 % від товщини деталі:

- багатоімпульсне зварювання;
- додаткове кільцеве обтискання деталей навколо електродів;
- використання теплового екрана;
- використання проміжного прошарку з матеріалу з високим питомим електричним опором;
- зменшення опору між електродом та деталлю;
- використання обмежувальних пристосувань з неелектропровідного матеріалу.

Однак всі ці способи не дозволяють забезпечити прецизійне з'єднання без застосування додаткових елементів апаратури управління, допоміжного обладнання, проміжних шарів з інших матеріалів, що впливає на властивості та структуру перехідного шару.

Таким чином, актуальним є розроблення технології електроконтактного точкового зварювання з локалізацією температурного і деформаційного впливу у приконтактній зоні.

Виклад основного матеріалу. Локалізації теплової та механічної енергії у стику, на нашу думку, можна досягти за рахунок використання тонкого багат шарового проміжного прошарку зі зварювального матеріалу.

Передумовою для цього є дослідження, проведені в роботі [7], де показано, що ефективним способом локалізації теплової енергії та пластичної деформації у стику при імпульсному нагріві струмом є використання проміжного перфорованого прошарку з матеріалу з високим питомим електричним опором, що дозволяє збільшити температуру в контактній деталі-деталь, зменшити час нагріву та зменшити рівень залишкових деформацій у зоні деталі-деталь за рахунок зниження об'єму розплавленого металу, а також за рахунок взаємодії та утворення зв'язків між матеріалом проміжного прошарку та основним металом.

У роботі [8] запропоновано спосіб зварювання матеріалів з низьким електричним опором тепловим ударом. Цей спосіб полягає в тому, що у проміжний порошковий прошарок, близький за складом до зварювальних матеріалів, додають матеріали, які являють собою з'єднання вуглецю. Потім між деталями пропускають струм, що викликає виділення джоулевого тепла у порошок та між порошком і деталями, що з'єднуються, в результаті чого відбувається зварювання спіканням. Спосіб застосовується для зварювання вольфрамокобальтових твердих сплавів та інших металевих матеріалів.

У роботі [9] запропоновано для локалізації тепловиділення в контактній при зварюванні алюмінієвих пластин товщиною 3–12 мм розташовувати між ними фольгу з низьковуглецевої сталі товщиною 0,05–0,2 мм. Протягом одного циклу зварювання при тиску до 150 МПа пропускають від 1 до 9 імпульсів зварювального струму щільністю до 1600 А/мм² тривалістю 0,1–0,25 с з нагріванням сталевих фольг до температури 1200 К. Здійснення декількох циклів нагрівання-охолодження забезпечує дифузійне розплавлення алюмінію в сталь на повну глибину, що за рахунок фазових перетворень дозволяє отримати зварне з'єднання двох алюмінієвих пластин підвищеної міцності з низьким питомим опором контакту.

Відомо, що контактний опір між деталями, який залежить від стану поверхні деталей, зварювального тиску і в декілька разів перевищує опір самих деталей, відіграє ключову роль у нагріві деталей при електроконтактному зварюванні.

Відповідно до вищесказаного, на нашу думку, ефективним засобом для локалізації тепловиділення у вузькій приконтактній зоні при електроконтактному зварюванні може бути розміщення між деталями, що зварюються, декількох шарів фольги зі зварювального матеріалу. При цьому нагрівання зони з'єднання до температури плавлення деталей буде відбуватися за рахунок генерування джоулевого тепла на контактних опорах між шарами фольги при пропусканні імпульсів струму відповідної щільності та тривалості. Разом з цим внесення у стик багат шарового прошарку зі зварювального матеріалу не приведе до зміни хімічного складу та властивостей перехідного шару.

Для підтвердження ефективності запропонованого засобу нами були проведені теоретичні та експериментальні дослідження. Як матеріал для досліджень використовували зразки з алюмінію марки АД00 та АМц розмірами 2×20×100 мм. Як багат шаровий прошарок із зварювального матеріалу використовували суцільну стрічку алюмінієвої фольги завтовшки 11 мкм за ГОСТ 618-73, яка згорталася в декілька шарів.

Зварювання зразків проводили на точковій машині загального використання марки МТ-1216 на максимально можливому жорсткому режимі: щільність струму в межах 300–350 А/мм², час зварювання змінювали від 0,1 до 1 с, тиск зварювання 2–3 МПа.

Металографічні дослідження зварних з'єднань проводились на шліфах за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8 і растрового електронного мікроскопа JSM-840 фірми "JEOL" (Японія) при збільшеннях до 5000 разів. Растровий електронний мікроскоп оснащений енергодисперсійним аналізатором LINK 860/500 фірми "LINK" (Англія).

Міцність зварних з'єднань алюмінієвих сплавів перевіряли на зріз на розривній установці УМ-5.

За допомогою комплексної системи ANSYS були проведені дослідження температурних полів при електроконтактному точковому зварюванні металевих матеріалів через тонкі багат шарові прошарки із зварювального матеріалу. Розрахункова схема наведена на рис. 6.

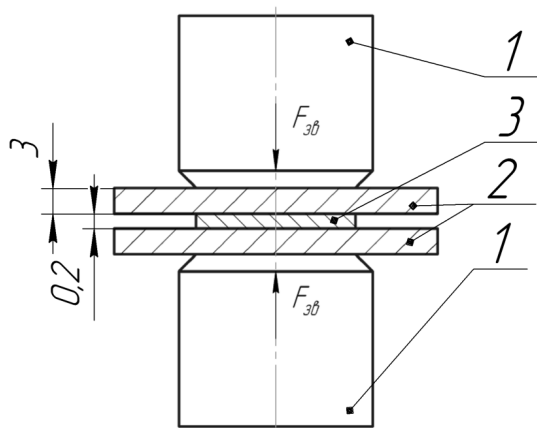


Рис. 6. Схема електроконтактного точкового зварювання з використанням багат шарового проміжного прошарку: 1 – електроди (мідь); 2 – деталі (алюміній); 3 – багат шаровий прошарок (алюміній)

У результаті розрахунків у комплексній системі ANSYS були отримані результати, які представлені на рис. 7.

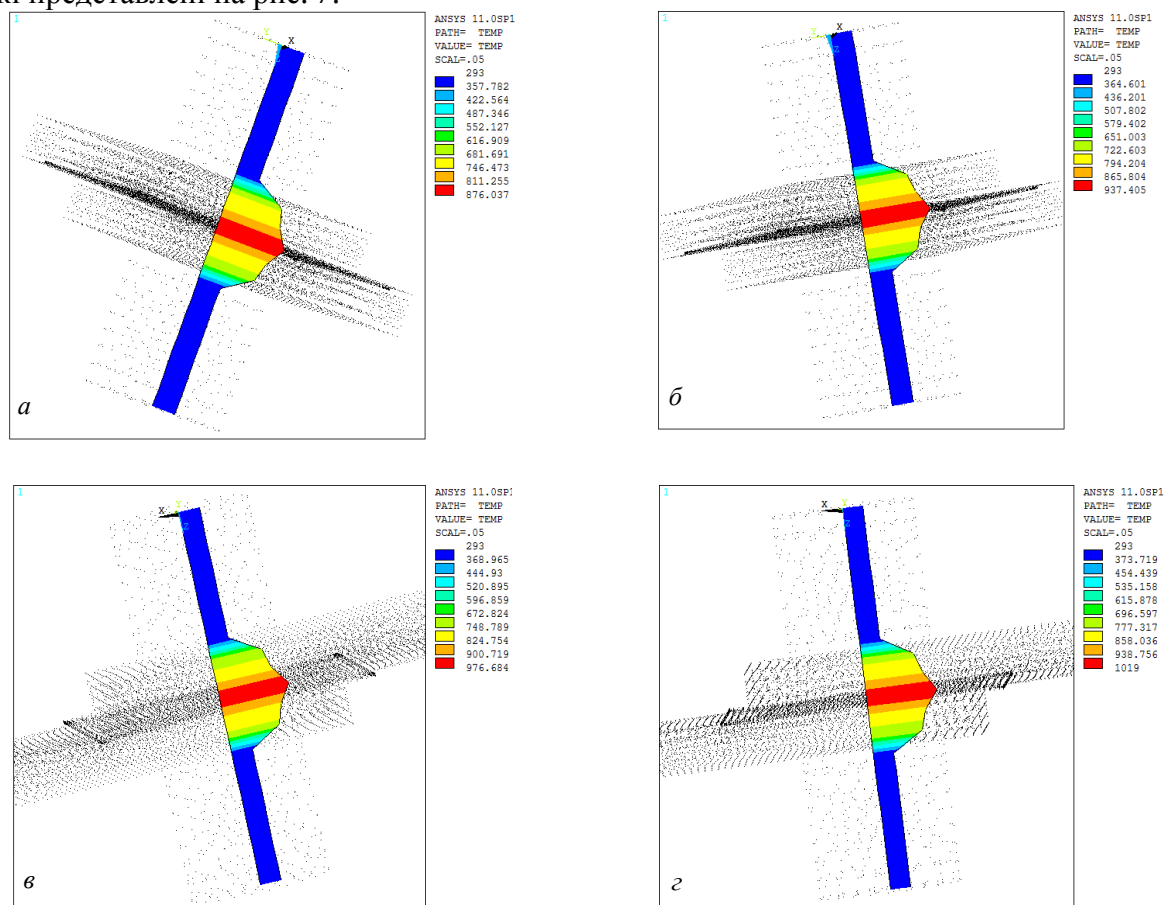


Рис. 7. Розподілення теплових полів при електроконтактному точковому зварюванні алюмінію через багат шаровий прошарок зі зварювального матеріалу через 2 шари (а), 4 шари (б), 6 шарів (в), 8 шарів (г)

З представлених рисунків видно, що зі збільшенням кількості шарів алюмінієвої фольги зростає локалізація теплової енергії у стику, а температура в ядрі зварного з'єднання, у випадку розміщення 4–6 шарів алюмінієвої фольги товщиною 11 мкм, досягає температури плавлення алюмінію.

На рис. 8 представлені результати механічних випробувань на зріз після електроконтактного точкового зварювання.

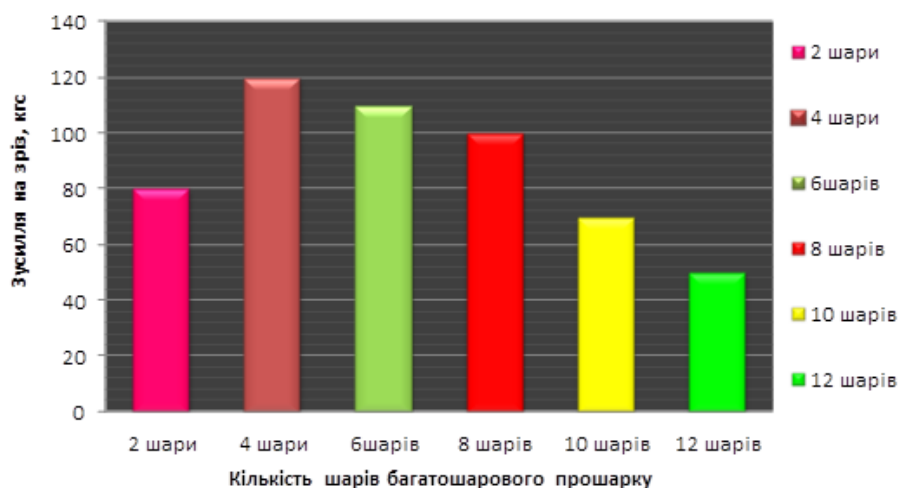


Рис. 8. Гістограма залежності розривного зусилля зварних з'єднань алюмінію марки АД00 від кількості шарів багатшарового прошарку з алюмінію

З представленої гістограми бачимо, що найбільш міцне зварне з'єднання отримане при використанні багатшарового прошарку із 4 шарами алюмінієвої фольги. Міцність його становить 95–100 % від міцності основного металу.

На рис. 9 представлена мікроструктура зварного з'єднання, отриманого при електроконтактному точковому зварюванні через багатшаровий прошарок.

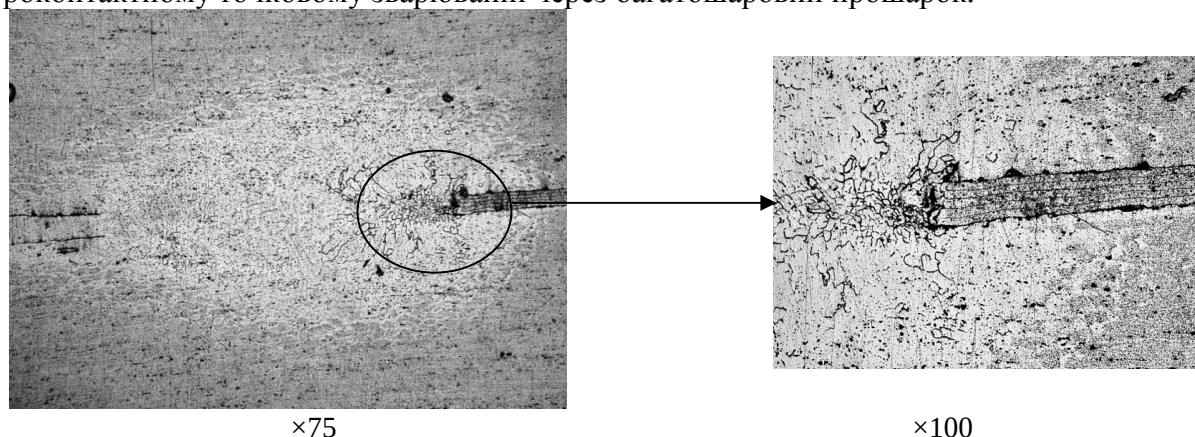


Рис. 9. Мікроструктура литого ядра після електроконтактного точкового зварювання алюмінію через багатшаровий прошарок зі зварювального матеріалу

З рис. 9 видно, що з'єднання утворюється за рахунок взаємного розплавлення й утворення загальної литої зони. При цьому деформація основного матеріалу не перевищує 2–3 % товщини деталі, глибина проплавлення становить приблизно 20–25 % товщини основного металу, а діаметр ядра становить 5–6 мм (85–95 % від норми, встановленої стандартом). Аналогічні результати були отримані й у випадку електроконтактного зварювання сплаву АМц через багатшаровий прошарок з алюмінію.

Таким чином, розміщення при електроконтактному точковому зварюванні між зварювальними деталями декількох шарів фольги зі зварювального матеріалу дозволяє локалізувати необхідну кількість тепла у стику з обмеженням рівня деформації до 2–3 %

товщини деталі та забезпечити високу міцність, теплопровідність і низький питомий опір контакту навіть при порівняно низьких значеннях щільності струму. Останнє має вирішальне значення для виготовлення виробів з алюмінієвих та мідних сплавів, електроконтактне точкове зварювання яких потребує використання дуже жорстких режимів, а також застосування відповідних додаткових засобів і прийомів.

Висновки

1. Встановлено, що ефективним засобом локалізації теплової енергії у стику при електроконтактному точковому зварюванні є використання багат шарових прошарків зі зварювального матеріалу. Показано, що регулювати кількість теплоти, яка виділяється у стику при електроконтактному зварюванні, можна як за рахунок зміни кількості шарів, так і їх товщини.

2. Застосування проміжного багат шарового прошарку зі зварювального матеріалу при електроконтактному точковому зварюванні дозволяє локалізувати теплову енергію у стику та підвищити прецизійність та міцність зварних з'єднань.

3. Розроблено нову технологію електроконтактного точкового зварювання металевих матеріалів через проміжний багат шаровий прошарок з матеріалу, який зварюється. Визначено оптимальний режим електроконтактного точкового зварювання алюмінію марки АД00 товщиною 2 мм через проміжні багат шарові прошарки з алюмінію: $j=300-350$ А/мм²; $P_{зв}=2-3$ МПа; $t_{зв}=0,3-0,5$ с; товщина фольги 11 мкм, кількість шарів –

4. Показано, що міцність зварних з'єднань алюмінію, отриманих електроконтактним точковим зварюванням на оптимальному режимі через проміжний багат шаровий прошарок з алюмінію, становить 95–100 % міцності основного металу, а зона з'єднання являє собою загальну зону взаємного розплавлення основного матеріалу.

Список використаних джерел

1. *Технология и оборудование контактной сварки* : учебник для машиностроительных вузов / Б. Д. Орлов, А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. *Кочергин К. А.* Контактная сварка / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отделение, 1987. – 240 с.
3. *Гуляев А. И.* Технология и оборудование контактной сварки : учебник для машиностроительных техникумов / А. И. Гуляев. – М. : Машиностроение, 1985. – 256 с.
4. *Пахаренко В. А.* Зварювання тиском / В. А. Пахаренко. – К. : Екотехнологія, 2011. – 272 с.
5. *Lutz Dorn, Talat Lecture 4500. Resistance Welding.* – Berlin : European Aluminium Association, 1994. – 23 p.
6. *Контактная сварка алюминиево-стальных переходников с использованием деформируемых композитных прослоек* / В. С. Кучук-Яценко, А. В. Лозовская, А. А. Наконечный, А. Г. Сахацкий // Автоматическая сварка. – 2006. – № 8(640). – С. 46–48.
7. *Спосіб дифузійного зварювання металевих деталей через прошарок* : патент на корисну модель № 60407 від 25.06.2011 р. / Г. К. Харченко, М. М. Руденко, О. О. Новомлинець, С. В. Олексієнко, І. О. Прибисько, Ю. В. Фальченко. Бюл. № 12.
8. *Спосіб зварювання матеріалів з низьким опором тепловим ударом.* Японск. : патент, кл. 12В4, № 19981, заявл. 6.05.67, опубл. 28.08.69.
9. *RU 2374049 МПК В23К11/18. Способ точечной электроконтактной сварки алюминия и его сплавов* / М. А. Федорин, И. М. Соцкая, П. С. Орлов. – Опубл. 27.11.2009, Бюл. № 56.

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.85

А.И. Косолап, д-р физ.-мат. наук

А.А. Довгополая, аспирант

Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепропетровск, Украина

СФЕРИЧЕСКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ

А.І. Косолап, д-р фіз.-мат. наук

А.О. Довгопола, аспірант

Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпропетровськ, Україна

СФЕРИЧНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ДАНИХ

Anatoliy Kosolap, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Alena Dovgopolaya, PhD student

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine

SPHERICAL CLUSTERING OF DATA

Рассмотрена задача разбиения данных на сферические кластеры. Приведена новая оптимизационная постановка задачи, которая является многоэкстремальной. Предложен метод точной квадратичной регуляризации для решения оптимизационной задачи. Этот метод сравнивается с методом ближайшего соседа для решения задач кластеризации данных. Многочисленные примеры показывают более высокую эффективность метода точной квадратичной регуляризации.

Ключевые слова: метод точной квадратичной регуляризации, метод ближайшего соседа, сферическая кластеризация данных, кластер, многоэкстремальные задачи.

Розглянуто задачу розбиття даних на сферичні кластери. Наведено нову оптимізаційну постановку задачі, яка є багатоекстремальною. Запропоновано метод точної квадратичної регуляризації для розв'язання оптимізаційної задачі. Цей метод порівнюється з методом найближчого сусіда для вирішення задач кластеризації даних. Численні приклади показують більш високу ефективність методу точної квадратичної регуляризації.

Ключові слова: метод точної квадратичної регуляризації, метод найближчого сусіда, сферична кластеризація даних, кластер, багатоекстремальні задачі.

In paper we consider a problem of dividing of data on spherical clusters. New optimising statement of a problem which is multiextreme is resulted. We offer a method exact quadratic regularization for the solution of this optimising problem. This method is compared to a method of the nearest neighbour for the solution of problems clustering of data. Many computational examples are provided to show the effectiveness of the proposed method.

Key words: exact quadratic regularization methods, nearest neighbour a method, spherical clustering of data, cluster, multiextremal problems.

Введение. Одной из основных задач в искусственном интеллекте и теории распознавания образов является разбиение данных на кластеры [1–2]. Как правило, данные (объекты) представляются точкой в n -мерном пространстве. Характеристикам объектов, которые необходимо разбить на кластеры, соответствуют компоненты n -мерной точки. Если расстояние между двумя точками мало, то эти точки входят в один кластер. В качестве расстояния может выбираться различная метрика пространства. Существуют эффективные методы разбиения данных на два кластера. Однако эффективное разбиение множества точек на более, чем два кластера, представляет сложную задачу [1–2]. Это связано с тем, что оптимальное разбиение точек на кластеры является многоэкстремальной задачей. В настоящее время для решения таких задач чаще используют генетические или эволюционные методы, которые основаны на случайном поиске и позволяют находить оптимальное решение задач кластеризации только с некоторой вероятностью [3]. В работе использован новый метод точной квадратичной регуляризации для решения многоэкстремальных задач, который показал лучшие результаты, в сравнении с генетическими и эволюционными методами, при решении многих тестовых задач [4].

Постановка задачи и метод ее решения. Будем рассматривать множество m точек $\{x^1, \dots, x^m\}$ в n -мерном евклидовом пространстве. Необходимо разбить это множество на

k кластеров таким образом, чтобы каждая точка попала только в один кластер и точки с близкими расстояниями образовывали кластер. Будем покрывать множество заданных точек n -мерными шарами с разными радиусами r_i . Необходимо определить центры $\{z^1, \dots, z^k\}$ шаров $B_i = \{x \mid \|x - z^i\|^2 \leq r_i^2\}$, $i = 1, \dots, k$ и их радиусы так, чтобы $B_i \cap B_j = \emptyset, \forall i \neq j$. Это условие непересечения шаров равносильно системе неравенств

$$\|z^j - z^i\|^2 \geq (r_i + r_j)^2, i, j = 1, \dots, k, i \neq j. \quad (1)$$

Теперь достаточно потребовать, чтобы каждая точка $x^j \in B_j$, что равносильно следующим ограничениям, при выполнении условий (1)

$$\prod_{i=1}^k (\|x^j - z^i\|^2 - r_i^2) \leq 0, j = 1, \dots, m. \quad (2)$$

Если точка x^j попадает в i -й кластер, то соответствующее выражение в круглых скобках (2) будет отрицательным, а все другие – положительными.

В качестве критерия оптимальности покрытия множества точек $\{x^1, \dots, x^m\}$ непересекающимися шарами выберем минимизацию суммы квадратов радиусов шаров

$$\sum_{i=1}^k r_i^2. \quad (3)$$

Если данную последовательность точек эффективнее покрыть меньшим числом кластеров, то некоторые радиусы шаров будут равны нулю. Эффективность разбиения данных на кластеры будем определять суммарным среднеквадратичным отклонением точек кластера от их средней точки.

Решение задачи (1–3) определит центры шаров, которые разобьют множество точек $\{x^1, \dots, x^m\}$ на кластеры. Задача (1–3) имеет $(n + 1)k$ искомым переменных $\{z^1, \dots, z^k\}$, $\{r_1, \dots, r_k\}$ и $m + k(k+1)/2$ ограничений (1–2). Целевая функция (3) является выпуклой, а допустимое множество будет невыпуклым, поэтому задача (1–3) будет многоэкстремальной. Классические методы ее решения, такие, например, как методы внутренней точки, позволяют найти только локальное решение, при этом могут возникнуть проблемы поиска допустимого решения. Поэтому используем метод точной квадратичной регуляризации для решения (1–3), который показал значительное преимущество в нахождении точек глобального минимума при решении многих тестовых задач [4].

Преобразуем задачу (1–3) к виду

$$\min \{z \mid \sum_{i=1}^k r_i^2 + s \leq z, \prod_{i=1}^k (\|x^j - z^i\|^2 - r_i^2) \leq 0, j = 1, \dots, m, \|z^j - z^i\|^2 \geq (r_i + r_j)^2, \forall i \neq j\}, \quad (4)$$

где параметр s удовлетворяет условию

$$s \geq \sum_{i=1}^k \|z^i\|^2.$$

Далее, задачу (4) преобразуем к следующей

$$\min \{\|y\|^2 \mid \sum_{i=1}^k r_i^2 + s \leq \|y\|^2, \prod_{i=1}^k (\|x^j - z^i\|^2 - r_i^2) \leq 0, j = 1, \dots, m, \|y^j - y^i\|^2 \geq (r_i + r_j)^2, \forall i \neq j\}, \quad (5)$$

где вектор y равен

$$y = (z^1, \dots, z^k, z, r_1, \dots, r_k).$$

Добавим к ограничениям задачи (5) квадратичное слагаемое так, чтобы функции, определяющие допустимую область задачи, стали выпуклыми. Существует такое значения параметра $q > 0$, при котором допустимая область задачи

$$\min\{\|y\|^2 \mid \sum_{i=1}^k r_i^2 + s + (q-1)\|y\|^2 \leq d, \prod_{i=1}^k (\|x^j - y^i\|^2 - r_i^2) + q\|y\|^2 \leq d, \\ j=1, \dots, m, q\|y\|^2 - \|y^j - y^i\|^2 + (r_i + r_j)^2 \leq d, \forall i \neq j, q\|y\|^2 = d\} \quad (6)$$

будет выпуклой, за исключением условия $q\|y\|^2 = d$. В задаче (6) значение новой переменной d необходимо определить. Если решение (y^0, d_0) выпуклой задачи

$$\min\{d \mid \sum_{i=1}^k r_i^2 + s + (q-1)\|y\|^2 \leq d, \prod_{i=1}^k (\|x^j - y^i\|^2 - r_i^2) + q\|y\|^2 \leq d, \\ j=1, \dots, m, q\|y\|^2 - \|y^j - y^i\|^2 + (r_i + r_j)^2 \leq d, \forall i \neq j, q\|y\|^2 \leq d\} \quad (7)$$

удовлетворяет условию $q\|y^0\|^2 = d_0$, то y^0 определяет решение задачи (1–3). В противном случае, необходимо решать задачу

$$\max\{\|y\|^2 \mid \sum_{i=1}^k r_i^2 + s + (q-1)\|y\|^2 \leq d, \prod_{i=1}^k (\|x^j - y^i\|^2 - r_i^2) + q\|y\|^2 \leq d, \\ j=1, \dots, m, q\|y\|^2 - \|y^j - y^i\|^2 + (r_i + r_j)^2 \leq d, \forall i \neq j\} \quad (8)$$

и искать минимальное значение d^* , при котором будет выполняться условие $q\|y^*\|^2 = d^*$, где y^* – решение задачи (8) при фиксированном значении d^* . При увеличении переменной d значение целевой функции задачи (8) монотонно возрастает, пока не выполнится условие $q\|y^*\|^2 = d^*$. Рассмотренная последовательность преобразований задачи (1–3) к эквивалентной задаче (8), при условии $q\|y\|^2 = d$, есть метод точной квадратичной регуляризации [4].

Вычисления. Рассмотренный метод точной квадратичной регуляризации реализован в виде компьютерной программы. Были проведены многочисленные эксперименты по разбиению данных на кластеры. Результаты расчетов сравнивались с решениями, полученными методом ближайшего соседа. Этот метод разбивает данные на произвольные кластеры. Суть его заключается в том, что ближайшие точки объединяются в один кластер. Эта пара точек заменяется одной средней точкой. Следующая пара ближайших точек образует новый кластер, если ни одна из этих точек не содержит точку существующего кластера. Иначе новая точка попадает в существующий кластер. Таким образом, на каждой итерации число точек, подлежащих кластеризации, сокращается на единицу (каждый кластер представляется средней точкой). Процесс разбиения точек на кластеры продолжается до тех пор, пока минимальное расстояние между двумя точками не превысит заданный порог.

Рассмотрим разбиение точек трехмерного пространства (2, 1, 3; 3, 2, 2; 1, 3, 3; 4, 1, 2; 5, 1, 3; 3, 1, 2; 1, 1, 3; 2, 2, 2; 1, 4, 3; 2, 3, 3; 3, 5, 4; 4, 4, 4; 5, 3, 5; 5, 4, 5; 3, 3, 5; 4, 3, 3; 1, 2, 1; 1, 1, 2)

на три кластера. Для этих данных задача (8) решалась при значениях параметров $s = 60$, $q = 90$. Найдены центры шаров в точках (1.75, 1.5, 2; 1.19, 3.35, 2.74; 3.85, 2.96, 3.26) с радиусами соответственно (1.35; 0.72; 2.33).

Методом ближайшего соседа данные точки были разбиты на три кластера с центрами кластеров в точках (2.93, 2.36, 3.07; 1.33, 3.33, 3; 5, 1, 3).

Полученные результаты сравнивались по суммарному среднеквадратичному отклонению точек кластера от их среднего. Для рассмотренного примера метод точной квадратичной регуляризации дал в 1,6 раз меньшее значение среднеквадратичного отклонения, чем метод ближайшего соседа.

Выводы. В работе приведена новая постановка задачи разбиения многомерных данных на сферические кластеры. Для решения полученной многоэкстремальной зада-

чи используется метод точной квадратичной регуляризации, эффективность которого подтверждена многочисленными экспериментами.

Список использованных источников

1. Хант Э. Искусственный интеллект / Э. Хант ; пер. с англ. Д. А. Белова и Ю. И. Крюкова ; под ред. В. Л. Стефанюка. – М. : Мир, 1978. – 560 с.
2. Мандель И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
3. Kenneth V. P. Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization / V. P. Kenneth, R. M. Storn, J. A. Lampinen. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2005. – 542 p.
4. Косолап А. И. Методы глобальной оптимизации / А. И. Косолап. – Днепропетровск : Наука и образование, 2013. – 316 с.

УДК 004.912:004.632

В.В. Литвинов, д-р техн. наук

О.П. Мойсеенко, ассистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ КЛАСТЕРОВ ПРИ РАБОТЕ С НЕИЕРАРХИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

В.В. Литвинов, д-р техн. наук

О.П. Мойсеенко, ассистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ФОРМУВАННЯ КЛАСТЕРІВ ПРИ РОБОТІ З НЕІЄРАРХІЧНИМИ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

Vitaliy Litvinov, Doctor of Technical Sciences

Oleg Myosenko, assistant

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

THE FORMATION OF CLUSTERS AT WORK WITH NON-HIERARCHICAL METHODS OF CLUSTER ANALYSIS

Рассматриваются принципы объединения похожих текстовых документов в тематические кластеры, механизмы формирования центров кластеров и правила остановки процесса автоматической кластеризации. Подробно описаны основные характеристики кластера и виды кластеризации. Сделан отступ в сторону итеративных методов как таких, что пригодны для работы с большими коллекциями документов и потому, что именно на них основана разрабатываемая система автоматизированной обработки больших объемов динамической текстовой информации. Разрабатываемая система нацелена на выполнение функций поиска, классификации и кластеризации текстовых документов согласно пользовательским запросам.

Ключевые слова: текстовая коллекция, центроид, неиерархическая кластеризация, обработка текстовых документов.

Розглянуто принципи об'єднання схожих текстових документів у тематичні кластери, механізми формування центрів кластерів та правила зупинки процесу автоматичної кластеризації. Детально описані основні характеристики кластера та види кластеризації. Зроблений відступ у бік ітеративних методів як таких, що придатні для роботи з великими колекціями документів і тому, що саме на них ґрунтується розроблювана система автоматизованої обробки великих об'ємів динамічної текстової інформації. Розроблювана система націлена на виконання функцій пошуку, класифікації та кластеризації текстових документів за запитами користувача.

Ключові слова: колекція документів, центр кластера, неієрархічна кластеризація, обробка текстових документів.

Discusses the principles of association or similar text documents into thematic clusters, mechanisms of formation of the cluster centers and the stopping rule of the automatic clustering. Described in detail the main characteristics of the cluster and the kinds of clustering. Indented toward iterative methods such as that are suitable to work with large collections of documents because it is based on their developed system of automated processing of large volumes of dynamic textual information. The developed system aims to perform search functions, classification and clustering text documents according to user requests. The system itself is described in more detail in other works of the author.

Key words: text collection, centroid, non-hierarchical clustering, the processing of text documents.

Введение. Кластеризация текстовых данных является многоэтапной процедурой, на каждом шаге которой должна решаться отдельная задача выбора наиболее адекватного способа реализации, влияющего на последующие этапы.

Термин кластерный анализ, впервые введенный Робертом Трионом (Robert Tryon) в 1939 году, является обобщенным термином для целого ряда методов, используемых для группировки объектов, событий или индивидов в классы (кластеры) на основе сходства их характерных признаков [1].

Существует большой ряд методов автоматической кластеризации, применимых для работы с текстовыми коллекциями (локальными и динамическими), например: SVM, k-means, Concept Indexing, самоорганизующиеся карты Кохонена (SOM) и др. Всех их объединяет идея выделения малых и максимально «похожих» групп документов или текстовых фрагментов из большого массива входных данных. Отличия существующих методов заключаются в принципах формирования кластеров и механизмах остановки этого процесса.

Свойства кластеров. Критерием для определения схожести и различия кластеров является расстояние между точками на диаграмме рассеивания. Это сходство можно "измерить", оно равно расстоянию между точками на графике. Способов определения меры расстояния между кластерами, называемой еще мерой близости, существует несколько. Наиболее распространенный способ – вычисление евклидова расстояния между двумя точками i и j на плоскости, когда известны их координаты X и Y :

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (1)$$

Кластер имеет следующие математические характеристики: центр, радиус, среднеквадратическое отклонение, размер кластера.

Основной характеристикой кластера является его центроид (центр кластера), и все существующие алгоритмы кластеризации в процессе образования центроидов тем или иным образом стремятся к стабилизации или полному прекращению изменений их положения в пространстве.

Центр кластера – это вектор, который вычисляется как среднее арифметическое векторов всех документов кластера:

$$\vec{C} = \frac{1}{|S|} \sum_{d \in S} \vec{d}, \quad (2)$$

где S – группа документов, или кластер. Такое определение центроида кластера еще называют центром масс кластера, подмножества документов.

Координаты центра масс в декартовых координатах:

$$c_x = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}, \quad (3)$$

$$c_y = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}.$$

Если все точки равнозначны, то $m = 1$ для всех точек.

Дисперсия кластера – это мера рассеяния точек в пространстве относительно центра кластера:

$$D_k = \frac{\sum_{i=1}^{I_1} \sum_{j=1}^n w_j (x_{ij} - \bar{x}_{kj})^2}{I_k - 1}. \quad (4)$$

Среднеквадратичное отклонение (СКО) объектов относительно центра кластера:

$$S_k = \sqrt{D_k}. \quad (5)$$

Радиус кластера – максимальное расстояние точек от центра кластера, он же радиус наименьшей сферы, содержащей все объекты кластера [2]:

$$R_k = \max \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (x_{ij} - \bar{x}_{kj})^2}. \quad (6)$$

Принципы иерархической кластеризации. Свыше 100 существующих методов кластерного анализа можно разделить на две группы:

- иерархические;
- неиерархические.

Суть иерархической кластеризации состоит в последовательном объединении (агломеративные методы) меньших кластеров в большие или разделении (дизимизимные методы) больших кластеров на меньшие.

При большом количестве наблюдений иерархические методы кластерного анализа не пригодны. В таких случаях используют неиерархические методы, основанные на разделении, которые представляют собой итеративные методы дробления исходной совокупности. В процессе деления новые кластеры формируются до тех пор, пока не будет выполнено правило остановки.

Такая неиерархическая кластеризация состоит в разделении набора данных на определенное количество отдельных кластеров. Существует два подхода. Первый заключается в определении границ кластеров как наиболее плотных участков в многомерном пространстве исходных данных, т. е. определение кластера там, где имеется большое "сгущение точек". Второй подход заключается в минимизации меры различия объектов [3].

В отличие от иерархических методов кластеризации, итеративные (повторяющиеся) методы до недавнего времени не имели широкого применения. Их актуальность возникла в виду быстрого роста объемов, получаемых и хранимых данных, требующих анализа и обработки. Почти все существующие итеративные методы работают по единому принципу:

1. Исходное разбиение множества данных на указанное число кластеров и вычисление центров тяжести этих кластеров.
2. Помещение точек векторного представления данных в кластер с ближайшим центром тяжести.
3. Вычисление новых центров до тех пор, пока не будут обработаны все входные данные.
4. Повторение двух последних шагов пока не прекратится перестройка кластеров или не будет выполнено правило остановки процесса кластеризации [4].

Согласно первому пункту, пользователь должен указать предполагаемое количество схожих, по его мнению, тематических групп, которые присутствуют в обрабатываемых данных, еще до создания кластеров. То есть для заданного пользователем числа кластеров k создается аналогичное количество k -центров, для каждого из которых сумма расстояний между объектами в n -мерном пространстве и точкой, характеризующей центр кластера, была минимальной.

$$R = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in K_i} \text{dist}(x^i, \omega) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где ω – объект кластеризации (например, документ); x^i – центр i -го кластера; dist – дистанция между ними; R – сумма расстояний внутри кластера.

Правила прекращения процесса кластеризации. Касательно правила остановки кластеризации, существует большое множество подходов, среди которых стоит выделить: критерий сферической разделимости, когда сумма радиусов двух кластеров меньше расстояния между их центрами (происходит объединение кластеров); среднюю меру

близости, когда среднее значение расстояний объектов кластера от его ядра больше половины расстояния между центрами соседних кластеров (происходит формирование нового ядра и разделение кластера). Как только объединение или разбиение кластеров прекращается, процесс кластеризации останавливается [5].

Следует отметить, что выбор правила прекращения кластеризации существенным образом влияет на показатели оценки работы того или иного метода, а реализовать все возможные правила для достижения наилучших показателей в одной программной системе вряд ли удастся. Следовательно, две программные системы, построенные на базе одного и того же итеративного метода кластеризации, но с разными заложенными правилами остановки процесса обработки, могут формировать одинаковое количество, но при этом не похожих кластеров с разной степенью распределения классифицируемых объектов (рис. 1 и рис. 2).

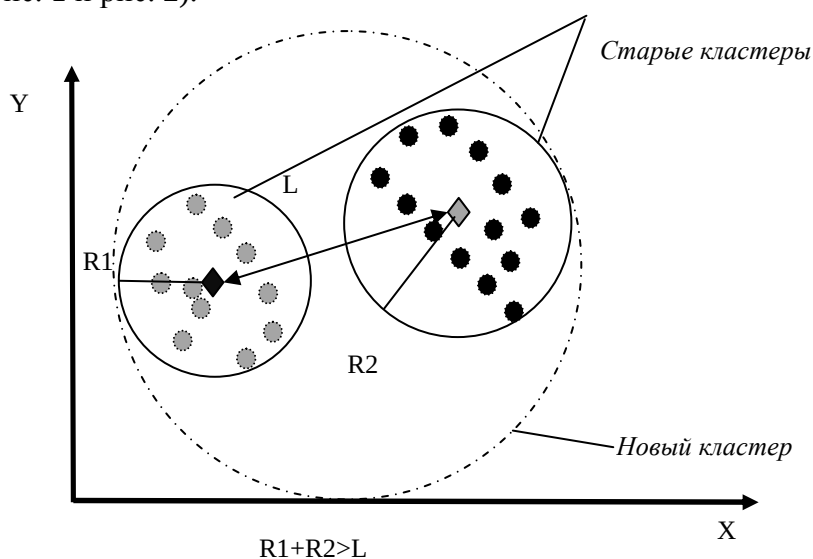


Рис. 1. Формирование нового кластера путем объединения двух существующих кластеров (правило сферической неразделимости)

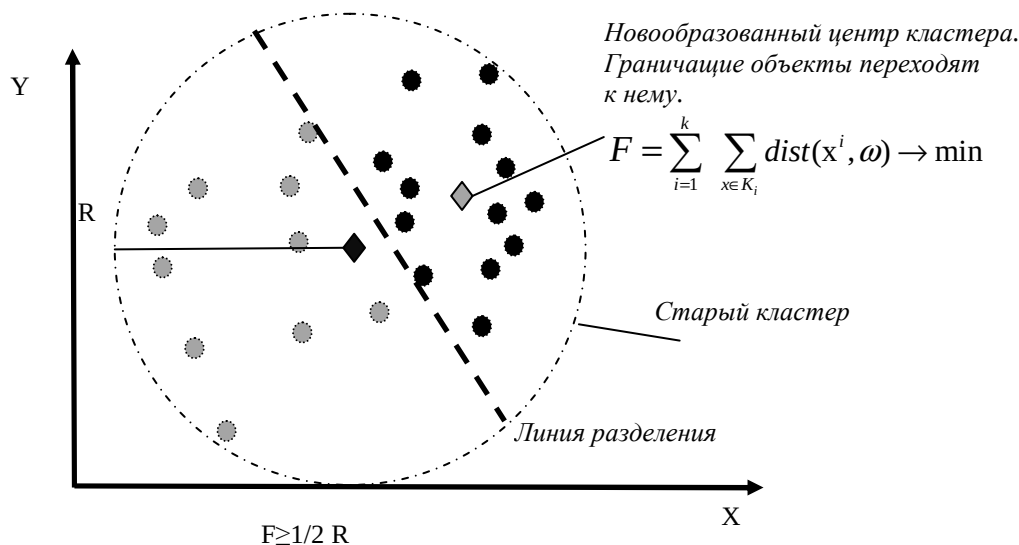


Рис. 2. Образование двух новых кластеров из одного путем его разделения, учитывая среднюю меру близости точек класса от ядра

Объект относится к кластеру, если расстояние от объекта до центра кластера меньше радиуса кластера. Если это условие выполняется для двух и более кластеров, объект

является спорным. Ошибки в результатах кластеризации могут быть устранены экспертом или аналитиком.

Выводы. Кластеризация делается для того, чтобы сократить объем входных данных и в случае возникновения спорных элементов может вызывать потерю соответствующих им документов, что критично при работе с малыми коллекциями. Первостепенный этап выборки начальных центроидов может быть реализован как функцией рандомного распределения, так и по определенному алгоритму, в зависимости от поставленных целей. Конечный результат кластеризации (количество итераций, количество создаваемых кластеров и правильность отнесения к ним обрабатываемых данных), в равной степени зависит от правил начального выбора центроидов и правил остановки процесса кластеризации.

Список использованных источников

1. *Словари и энциклопедии. Кластерный анализ* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_psychology/349/Кластерный.
2. *Задачи кластерного анализа* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ru.science.wikia.com/wiki/Кластерный_анализ.
3. *Методы кластерного анализа* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://bug.kpi.ua/stud/work/RGR/DATAMINING/clusteranalysismethods.html>.
4. *Факторный, дискриминантный и кластерный анализ* : пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др. ; под ред. И. С. Енюкова. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
5. *SVM-Light Support Vector Machine* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.svm-light.joachims.org>.
6. *Литвинов В. В.* Автоматизованная система обработки динамических коллекций разноразличных текстовых документов по морфологическому и лексическому делу / В. В. Литвинов, О. П. Мойсеенко // Математические машины и системы. – 2014. – № 2. – С. 59–64.

УДК 004.519.7(045)

А.І. Вавіленкова, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОШУКУ СИНОНІМІВ В ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТАХ

А.И. Вавиленкова, канд. техн. наук

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА СИНОНИМОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТАХ

Anastasiia Vavilenkova, PhD in Technical Sciences

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE METHODS OF SEARCHING SYNONYMS IN ELECTRONIC DOCUMENTS

Проаналізовано статистичні засоби пошуку синонімів у природномовних текстах, розглянуто алгоритми пошуку синонімів, що ґрунтуються на використанні тезауруса мови. Запропоновано формальні умови виявлення синонімічних конструкцій через використання логіко-лінгвістичних моделей. Це стало можливим завдяки дослідженню трансформацій слів. Проведено статистичний аналіз використання синонімічних конструкцій у різних типах текстових документів.

Ключові слова: природна мова, синоніми, конверсиви, трансформація, аналіз тексту, логіко-лінгвістичні моделі, електронні документи.

Осуществлен анализ статистических методов поиска синонимов в текстах естественного языка, рассмотрены алгоритмы поиска синонимов, которые основываются на использовании тезауруса речи. Предложены формальные условия нахождения синонимических конструкций путем использования логико-лингвистических моделей. Это стало возможным благодаря исследованию трансформаций слов. Проведен статистический анализ использования синонимических конструкций в различных типах текстовых документов.

Ключевые слова: естественный язык, синонимы, конверсивы, трансформация, анализ текста, логико-лингвистическая модель, электронные документы.

The article presents the analysis of the statistical methods of searching for synonyms in natural language text. The algorithms are based on the use of a thesaurus of speech. The proposed formal conditions for searching synonymous

constructions are possible by means of logic-linguistic models. All that can be done due to the study of transformations of words. Article provides with statistical analysis of the use of synonymous structures in different types of text documents.

Key words: natural language, synonyms, conversions, transformation, text analysis, logic-linguistic models, electronic documents.

Постановка проблеми. Проблема пошуку синонімічних конструкцій займає одну з першочергових позицій у процесі здійснення змістовної обробки електронних документів. Адже методи пошуку взаємозамінних синтаксичних складових, що використовуються сьогоднішніми пошуковими системами, – статистичні і не враховують зміст текстової інформації. Через це інформаційний простір наповнений величезною кількістю електронних документів, які дублюються повністю, дещо змінені чи трансформовані за рахунок неточного перекладу, а на запит користувача видаються відповіді з все меншою релевантністю.

Для змістовного автоматичного аналізу електронних документів необхідно розробити такий формальний апарат, який об'єднував би в собі всі можливі способи подання контексту (з позиції лінгвістики) та математичні методи їх виявлення. Для знаходження текстових збігів та логічних суперечностей потрібні алгоритми ідентифікації синонімічних конструкцій, що є основою порівняльного аналізу за змістом.

Синонімами вважають вирази, які збігаються або близькі за лексичним значенням, здатні замінити одне одного в деяких контекстах [1]. Якщо формалізувати умови виявлення синонімів у природномовних текстах, то стає можливою автоматизація порівняльного аналізу електронних документів за змістом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень у сфері комп'ютерної лінгвістики показав, що чисельні теорії та експерименти у сфері аналітичної обробки текстової інформації досі не дали можливість створити автоматизовану систему змістовного аналізу текстових документів. На заваді стають такі проблеми, як знаходження синонімів, автоматичне зняття омонімії, інверсний порядок слів у реченні, логічні суперечності, авторські знаки у текстах та ін.

Зокрема, вирішенням перерахованих вище проблем займаються Н.Ф. Алєфіренко, намагаючись через різні інтерпретації синтаксичного значення дійти до семантичної суті [2], Dirk Geeraerts у роботі «Cognitive linguistics: basic readings research» [3], М.В. Нікітін, досліджуючи компоненти змістовної структури поняття та ієрархії узагальнень [4].

М.О. Кронгауз [5] у своїх дослідженнях позиціонує синоніми як слова, що повинні відноситися до тієї ж самої частини мови, спираючись на роботи Ю.Д. Апресяна [6], наполягає на однаковій кількості активних семантичних валентностей та співвіднесенні однакових валентностей з однаковими ролями.

Американські лінгвісти Dan Jurafsky та Christopher Manning [7] пропонують курс лекцій з обробки природномовних текстів, у якому узагальнюють всю відому на сьогодні інформацію щодо морфологічного, синтаксичного, семантичного та когнітивного аналізу текстової інформації.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Саме відсутність формальних засобів виявлення синонімічних конструкцій є основною проблемою на шляху автоматизованого порівняння текстових документів за змістом. Тому матеріали дослідження спрямовані на розроблення формального апарату, який дозволить знаходити в електронних документах синонімічні конструкції, враховуючи всі можливі їх вираження.

Мета статті. Метою роботи є аналіз методів пошуку синонімів в електронних документах, виявлення недоліків наявних методів та розроблення нових алгоритмів, що забезпечили б можливість виявлення змісту текстової інформації та дали б можливість автоматично порівнювати контекст текстових документів.

Виклад основного матеріалу. Сучасні системи обробки текстової інформації вирішують проблему виявлення синонімічних конструкцій як завдання пошуку фрагментів тексту, що збігається з шаблоном. Зокрема, для цього використовуються алгоритми

пошуку підрядочка в рядочку, наприклад, алгоритм Карпа-Рабіна, метод шинглів, алгоритм Кнута-Морріса-Пратта, алгоритм Бойера-Мура [8], методи лексичних сигнатур, алгоритм виявлення інформаційних сюжетів [9].

У комп'ютерній лінгвістиці застосовується поняття відстані Левенштейна, яке означає мінімальну кількість операцій вставки, видалення та заміни одного символу на інший, що необхідно для перетворення одного рядочка в інший [10].

Нехай T_1 і T_2 два рядочки довжиною l_1 та l_2 відповідно, тоді відстань Левенштейна $d(T_1, T_2)$ розраховують за формулою $d(T_1, T_2) = D(l_1, l_2)$, де

$$D(l_1, l_2) = \begin{cases} 0, & i = 0, j = 0, \\ i, & j = 0, i > 0, \\ j, & i = 0, j > 0, \\ \min(D(i, j-1)+1, D(i-1, j)+1, D(i-1, j-1)+m(T_1[i], T_2[j])), & j > 0, i > 0; \end{cases}$$

i – номер символу першого рядочка T_1 ;

j – номер символу другого рядочка T_2 ;

$m(T_1[i], T_2[j]) = 0$, якщо $T_1[i] = T_2[j]$;

$m(T_1[i], T_2[j]) = 1$, якщо $T_1[i] \neq T_2[j]$;

крок по i означає видалення символу з першого рядочка;

крок по j означає вставку символу в перший рядок;

крок по обох символах означає заміну символу або відсутність змін.

Якщо переставити слова місцями, то відстань Левенштейна між ними буде великою, що говоримо про їх несинонімічність. Також відстань між схожими довгими словами буде більшою, ніж між абсолютно не схожими короткими. Це свідчить про те, що аналіз слів у рядочках відбувається суто статистично, не враховуючи зміст слів природної мови.

Учені у сфері комп'ютерної лінгвістики [7] розрізняють два класи алгоритмів пошуку синонімів.

1. Алгоритми, що використовують для пошуку тезауруса природної мови.

а) Два концепти вважаються однаковими, якщо вони розміщені один біля одного в ієрархії тезауруса, тобто мають між собою коротку відстань, а довжина шляху концепту до самого себе дорівнює 1. Наприклад, нехай у тезаурусі української мови існує ієрархія синонімів до слова «говорити» (рис. 1).



Рис. 1. Ієрархія синонімів до слова «говорити»

Якщо позначити два концепти як c_1 та c_2 , то відстань між ними в тезаурусі розраховується як:

$$\text{pathlen}(c_1, c_2) = 1 + q,$$

де q – кількість позицій найкоротшого шляху на орієнтованому графі від концепту c_1 до c_2 .

Тоді синонімічна відстань у тезаурусі між концептами c_1 та c_2 дорівнює:

$$\text{simpath}(c_1, c_2) = \frac{1}{\text{pathlen}(c_1, c_2)}.$$

Наприклад, для ієрархії синонімів, зображених на рис. 1, синонімічна відстань між словами буде розрахована таким чином:

$$\text{simpath}(\text{розповідати}, \text{казати}) = 1/2 = 0,5.$$

$$\text{simpath}(\text{розповідати}, \text{повідати}) = 1/3 = 0,33.$$

$$\text{simpath}(\text{розповідати}, \text{гомоніти}) = 1/5 = 0,2.$$

$$\text{simpath}(\text{розповідати}, \text{паяжати}) = 1/8 = 0,125.$$

Розрахована таким чином синонімічна відстань носить абстрактний характер, оскільки кожен текст носить свої відтінки використання тих чи інших однозначних слів, які не можуть бути враховані при створенні ієрархії синонімів у тезаурусі. До того ж створення таких ієрархій – дуже трудомісткий процес, що потребує зусиль багатьох лінгвістів.

б) Слова вважаються однаковими за змістом, якщо мають однакові визначення у тезаурусі, а синонімічність визначається за допомогою підрахунків.

Для кожного концепту в ієрархії підраховується кількість можливих визначень по горизонталі:

$$fq(c) = \frac{\sum_{w \in \text{words}(c)} \text{count}(w)}{N},$$

де w – слово в ієрархії синонімів;

$\text{words}(c)$ – набір усіх слів, що вважаються дочірніми від концепту c ;

N – загальна кількість слів в ієрархії.

Наприклад, для ієрархії (рис. 1) можна побудувати набори слів:

$$\text{words}(\text{«базікати»}) = \{\text{жебоніти паяжати}\},$$

$$\text{words}(\text{«розмовляти»}) = \{\text{розповідати}, \text{свідчити}, \text{повідати}, \text{казати}, \text{мовити}\}.$$

2. Розподілені алгоритми (визначають, чи мають слова однаковий розподілений контекст).

Для розподілених алгоритмів характерно те, що в основі ідентичності двох слів лежить загальна інформація, тобто чим більше слова мають спільної загальної інформації, тим більше схожі вони за змістом. Розрахунок синонімічності двох концептів можна здійснювати за такими формулами:

а) за методом Різника:

$$\text{sim}_{\text{reznik}}(c_1, c_2) = -\log fq(lcs(c_1, c_2)),$$

б) за методом Деканга Ліна враховується не тільки схожість, але й те, що чим більше різного в загальній інформації про концепти, тим менш вони схожі, а схожість розраховується як відношення кількості інформації, необхідної для опису загального, до інформації, потрібної для повного опису того, чим є концепти:

$$\text{sim}_{\text{Lin}}(c_1, c_2) = \frac{2 \log fq(lcs(c_1, c_2))}{\log fq(c_1) + \log fq(c_2)},$$

де $lcs(c_1, c_2)$ – найнижчий опис в ієрархії, який описує і концепт c_1 , і концепт c_2 .

Усі описані вище методи пошуку синонімів дієві з тією чи іншою ймовірністю лише для слів і не можуть бути застосовані до речень природної мови.

Формальні умови виявлення синонімічних конструкцій завдяки використанню логіко-лінгвістичних моделей. Нехай розглядаються два речення (рядочки) T_1 і T_2 :

$T_1[i]$ – символ першого рядочка, $i = \overline{1, l_1}$;

$T_2[j]$ – символ другого рядочка, $j = \overline{1, l_2}$;

S_k – слово першого рядочка, $k = \overline{1, n}$, n – загальна кількість слів у рядочку T_1 ;

S_r – слово другого рядочка, $r = \overline{1, m}$, m – загальна кількість слів у рядочку T_2 .

Кожному слову речення природної мови S ставиться у відповідність набір характеристик [11]:

$$Z(S) = \{cm, g, n, k2, t, h, l, ch\},$$

де $cm = \overline{1, 11}$ – граматична характеристика, що позначає частину мови, кожному цифровому значенню якої відповідає іменник, прикметник, числівник, займенник, дієслово, дієприкметник, дієприслівник, прислівник, прийменник, сполучник або частка відповідно;

$g = \overline{1, 7}$ – морфологічна ознака, що відповідає за відмінок;

$n = \overline{1, 2}$ – граматичний параметр, що означає число;

$k2 = \overline{1, 4}$ – граматичний параметр, що означає рід;

$t = \overline{0, 3}$ – граматичний параметр, що означає час;

$h = \overline{1, 3}$ – граматичний параметр, що означає спосіб;

$l = \overline{1, 3}$ – граматичний параметр, що означає особу;

$ch = \overline{1, 5}$ – параметр, що означає синтаксичну роль (підмет, присудок, додаток, означення, обставина).

Можна сформулювати умови, за яких речення природної мови будуть формально вважатися однаковими за змістом. Для знаходження синонімічних конструкцій не має значення порядок розгляду речень, тобто умови можна застосовувати й у зворотню сторону, коли першим буде вважатися речення T_2 , а другим T_1 .

1. Умова, пов'язана з існуванням у флективних мовах такого явища, як синтаксична деривація, ще називається транспозиційною деривацією: перехід слова з однієї частини мови в іншу без зміни його лексичного значення.

а) Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1} \rightarrow S_{k+2}$, що володіють характеристиками

$$Z_k(S_k) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{k+1}(S_{k+1}) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\},$$

$$Z_{k+2}(S_{k+2}) = \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, t_{k+2}, h_{k+2}, l_{k+2}, ch_{k+2}\},$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2} \rightarrow S_{r+3}$ другого речення T_2 , таку, що $S_r \equiv S_k$, $S_{r+1} \neq S_{k+1}$, $\hat{S}_{r+2} \equiv \hat{S}_{k+1}$ (де $\hat{S}_{r+2}, \hat{S}_{k+1}$ – спільнокореневі слова), $S_{r+3} \equiv S_{k+2}$ з характеристиками

$$Z_r(S_r) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{r+1}(S_{r+1}) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\},$$

$$Z_{r+2}(S_{r+2}) = \{1, g_{r+2} \neq 1, n_{r+2}, k2_{r+2}, 0, 0, l_{r+2}, 2\},$$

$$Z_{r+3}(S_{r+3}) = \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, t_{k+2}, h_{k+2}, l_{k+2}, ch_{k+2}\}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Наприклад, «Традиція розпочинається у минулому столітті» та «Традиція бере початок у минулому столітті».

Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

Розпочинається (традиція, столітті {минулому}), $P_1(x_1, x_2\{c_{21}\})$,

Бере& початок (традиція, столітті {минулому}), $P_2 \& \hat{P}_1(x_1, x_2\{c_{21}\})$.

У цьому разі суб'єкти та об'єкти логіко-лінгвістичних моделей однакові, а предикати відповідають схемі: $P_1 \equiv P_2 \& \hat{P}_1$, де $\hat{P}_1$ – слово, спільнокореневе до P_1 .

б) Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1} \rightarrow S_{k+2}$, що володіють характеристиками

$$Z_k(S_k) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{k+1}(S_{k+1}) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\},$$

$$Z_{k+2}(S_{k+2}) = \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\},$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2}$ другого речення T_2 , таку, що $S_r \equiv S_k$, $\hat{S}_{r+1} \equiv \hat{S}_{k+1}$, $S_{r+2} \equiv S_{k+2}$ з характеристиками

$$Z_r(S_r) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{r+1}(S_{r+1}) = \{6, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 2\},$$

$$Z_{r+2}(S_{r+2}) = \{cm_{k+2}, g_{r+2} \neq g_{k+2}, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Наприклад, речення «Робота цікавить викладача» і «Робота цікава викладачу». Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

Цікавить (робота, викладача), $P_1(x_1, x_2)$,

Цікава (робота, викладачу), $\hat{P}_1(x_1, x_2)$.

Аналогічно першій умові, логіко-лінгвістичні моделі речень однакові, а предикати відповідають схемі: $P_1 \equiv \hat{P}_1$.

в) Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1} \rightarrow S_{k+2}$, що володіють характеристиками

$$Z_k(S_k) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{k+1}(S_{k+1}) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\},$$

$$Z_{k+2}(S_{k+2}) = \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\},$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2} \rightarrow S_{r+3} \rightarrow S_{r+4}$ другого речення T_2 , таку, що $S_{r+1} \equiv S_{k+2}$, $\hat{S}_{r+3} \equiv \hat{S}_{k+2}$, $S_{r+4} \equiv S_k$ з характеристиками

$$Z_r(S_r) = \{9, g_{r+1}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\},$$

$$Z_{r+1}(S_{r+1}) = \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\},$$

$$Z_{r+2}(S_{r+2}) = \{cm_{r+2}, 1, n_{r+2}, k2_{r+2}, 0, 0, l_{r+2}, 2\},$$

$$Z_{r+3}(S_{r+3}) = \{9, g_{r+4}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\},$$

$$Z_{r+4}(S_{r+4}) = \{cm_k, g_{r+4} \neq 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 3\}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Наприклад, речення «Робота цікавить викладача» і «У викладача цікавість до роботи». Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

Цікавить (робота, викладача), $P_1(x_1, x_2)$,

Цікавість (, викладача, роботи), $\hat{P}_1(x_2, x_1)$.

Таким чином, предикатна змінна (суб'єкт) у другому реченні відсутня, а предикати відповідають схемі: $P_1 \equiv \hat{P}_1$, де $\hat{P}_1$ – слово, спільнокореневе до P_1 .

2. Синонімічними за змістом можна вважати речення, у яких змінені синтаксичні позиції лексичних морфем, а денотативне значення залишається незмінним, з рахуванням таких умов.

а) Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1} \rightarrow S_{k+2}$, що володіють характеристиками

$$\begin{aligned} Z_k(S_k) &= \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\}, \\ Z_{k+1}(S_{k+1}) &= \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\}, \\ Z_{k+2}(S_{k+2}) &= \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\}, \end{aligned}$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2}$ другого речення T_2 , таку, що $S_r \equiv S_{k+2}$, $S_{r+1} \equiv S_{k+1}$, $S_{r+2} \equiv S_k$ з характеристиками

$$\begin{aligned} Z_r(S_r) &= \{cm_{k+2}, 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 1\}, \\ Z_{r+1}(S_{r+1}) &= \{5, 0, n_r, k2_r, t_{r+1}, h_{r+1}, l_r, 2\}, \\ Z_{r+2}(S_{r+2}) &= \{cm_k, g_{r+1} \neq 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 3\} \end{aligned}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Наприклад, речення «*Експерти використовують методи*» та «*Методи використовуються експертами*». Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

Використовують (експерти, методи), $P_1(x_1, x_2)$,

Використовуються (методи, експертами), $P_1(x_2, x_1)$.

б) Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1} \rightarrow S_{k+2}$, що володіють характеристиками

$$\begin{aligned} Z_k(S_k) &= \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\}, \\ Z_{k+1}(S_{k+1}) &= \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\}, \\ Z_{k+2}(S_{k+2}) &= \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\}, \end{aligned}$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2} \rightarrow S_{r+3}$ другого речення T_2 , таку, що $S_r \equiv S_{k+2}$, $S_{r+1} \equiv S_{k+1}$, $S_{r+3} \equiv S_k$ з характеристиками

$$\begin{aligned} Z_r(S_r) &= \{cm_{k+2}, 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 1\}, \\ Z_{r+1}(S_{r+1}) &= \{5, 0, n_r, k2_r, t_{r+1}, h_{r+1}, l_r, 2\}, \\ Z_{r+2}(S_{r+2}) &= \{9, g_{r+3}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}, \\ Z_{r+3}(S_{r+3}) &= \{cm_k, g_{r+3} \neq 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 3\} \end{aligned}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Наприклад, речення «*Магніт притягує залізо*» та «*Залізо притягується до магніту*». Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

Притягує (магніт, залізо), $P_1(x_1, x_2)$,

Притягується (залізо, магніту), $P_1(x_2, x_1)$.

Аналіз логіко-лінгвістичних моделей у двох описаних вище ситуаціях дає змогу зробити висновок про те, що якщо предикатна змінна (суб'єкт) одного речення дорів-

нює предикатній змінній (аргументу) другого речення, і навпаки, а також рівні предикати, то такі речення тотожні за змістом.

в) Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1} \rightarrow S_{k+2} \rightarrow S_{k+3}$, що володіють характеристиками

$$Z_k(S_k) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{k+1}(S_{k+1}) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\},$$

$$Z_{k+2}(S_{k+2}) = \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\},$$

$$Z_{k+3}(S_{k+3}) = \{cm_{k+3}, g_{k+3} \neq 1, n_{k+3}, k2_{k+3}, 0, 0, l_{k+3}, 3\},$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2} \rightarrow S_{r+3} \rightarrow S_{r+4}$ другого речення T_2 , таку, що $S_r \equiv S_k$, $S_{r+1} \equiv S_{k+1}$, $S_{r+2} \equiv S_{k+2}$, $S_{r+3} \equiv S_{k+3}$ з характеристиками

$$Z_r(S_r) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{r+1}(S_{r+1}) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\},$$

$$Z_{r+2}(S_{r+2}) = \{cm_{k+3}, (g_{r+2} \neq 1) \& (g_{r+2} \neq g_{k+3}), n_{k+3}, k2_{k+3}, 0, 0, l_{k+3}, 3\},$$

$$Z_{r+3}(S_{r+3}) = \{9, g_{r+4}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\},$$

$$Z_{k+4}(S_{k+4}) = \{cm_{k+2}, (g_{r+4} \neq 1) \& (g_{r+4} \neq g_{k+2}), n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Такий запис показує, що лівий та правий трансформи описують ситуацію того самого класу. В результаті використання таких синонімічних конструкцій зміщується логічний акцент, змінюються синтаксичні позиції лексичних морфем, проте зберігається зміст.

Наприклад, речення «Учені постачають бібліотеки книжками» та «Учені постачають книжки до бібліотек». Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

$$\text{Постачають (вчені, бібліотеки, книжками), } P_1(x_1, x_2, x_3),$$

$$\text{Постачають (вчені, книжки, бібліотек), } P_1(x_1, x_3, x_2).$$

Такий вид синонімії відображається в логіко-лінгвістичних моделях через заміну предикатних змінних (аргументів).

3. Трансформації, в яких змінюється прийменниково-відмінкова форма не більше ніж у одного іменника, вважаються синонімічними.

Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1}$, що володіють характеристиками

$$Z_k(S_k) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_k, h_k, l_k, 2\},$$

$$Z_{k+1}(S_{k+1}) = \{cm_{k+1}, g_{k+1} \neq 1, n_{k+1}, k2_{k+1}, 0, 0, l_{k+1}, ch_{k+1}\},$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2}$ другого речення T_2 , таку, що $\hat{S}_r \equiv \hat{S}_k$, $\hat{S}_{r+1} \equiv \hat{S}_{k+1}$, з характеристиками

$$Z_r(S_r) = \{1, g_r \neq 1, n_r, k2_r, 0, 0, l_r, 2\},$$

$$Z_{r+1}(S_{r+1}) = \{9, g_{r+2}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\},$$

$$Z_{r+2}(S_{r+2}) = \{cm_{k+1}, g_{r+2} \neq 1, n_{k+1}, k2_{k+1}, 0, 0, l_{k+1}, ch_{r+2}\}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Наприклад, речення «Цукор важить три кілограми» і «Цукор вагою в три кілограми». Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

Важить (цукор, три, кілограми), $P_1(x_1, x_2, x_3)$,

Вагою (цукор, три, кілограми), $\tilde{P}_1(x_1, x_3, x_2)$.

Таким чином, предикати та предикатна змінна (аргумент) при такому виді синонімії виступають спільнокореновими словами і тотожні у логіко-лінгвістичних моделях.

4. Ще одним явищем синонімії вважається використання у реченнях природної мови конверсивів, які описують ту саму ситуацію з різних поглядів.

Якщо в першому реченні T_1 знайдено послідовність слів $S_k \rightarrow S_{k+1} \rightarrow S_{k+2} \rightarrow S_{k+3}$, що володіють характеристиками

$$Z_k(S_k) = \{cm_k, 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 1\},$$

$$Z_{k+1}(S_{k+1}) = \{5, 0, n_k, k2_k, t_{k+1}, h_{k+1}, l_k, 2\},$$

$$Z_{k+2}(S_{k+2}) = \{cm_{k+2}, g_{k+2} \neq 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 3\},$$

$$Z_{k+3}(S_{k+3}) = \{cm_{k+3}, g_{k+3} \neq 1, n_{k+3}, k2_{k+3}, 0, 0, l_{k+3}, 3\},$$

і такій послідовності можна поставити у відповідність послідовність слів $S_r \rightarrow S_{r+1} \rightarrow S_{r+2} \rightarrow S_{r+3} \rightarrow S_{r+4}$ другого речення T_2 , таку, що $S_r \equiv S_{k+3}$, $\tilde{S}_{r+1} \equiv \tilde{S}_{k+1}$, $S_{r+3} \equiv S_{k+2}$, $S_{r+4} \equiv S_{k+3}$ (де $\tilde{S}_{r+1} \equiv \tilde{S}_{k+1}$ – конверсиви) з характеристиками

$$Z_r(S_r) = \{cm_{k+2}, 1, n_{k+2}, k2_{k+2}, 0, 0, l_{k+2}, 1\},$$

$$Z_{r+1}(S_{r+1}) = \{5, 0, n_r, k2_r, t_{k+1}, h_{k+1}, l_r, 2\},$$

$$Z_{r+2}(S_{r+2}) = \{9, g_{r+3}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\},$$

$$Z_{r+3}(S_{r+3}) = \{cm_k, g_{r+3} \neq 1, n_k, k2_k, 0, 0, l_k, 3\},$$

$$Z_{r+4}(S_{r+4}) = \{cm_{k+3}, g_{k+3} \neq 1, n_{k+3}, k2_{k+3}, 0, 0, l_{k+3}, 3\}$$

відповідно, то речення T_1 та T_2 тотожні за змістом.

Такий запис показує, що лівий та правий трансформи описують ситуацію того самого класу. В результаті використання таких синонімічних конструкцій, зміщується логічний акцент, змінюються синтаксичні позиції лексичних морфем, проте зберігається зміст.

Наприклад, речення «Сергій подарував батькові машину» і «Батько отримав від Сергія машину». Логіко-лінгвістичні моделі речень мають вигляд:

Подарував (Сергій, батькові, машину), $P_1(x_1, x_2, x_3)$,

Отримав (батько, Сергія, машину), $\tilde{P}_1(x_2, x_1, x_3)$.

У логіко-лінгвістичних моделях таких синонімічних конструкцій предикатна змінна (суб'єкт) виступає предикатною змінною (об'єктом) у другому реченні і навпаки, а предикат формується за схемою: $P_1 = \tilde{P}_1$ – конверсиви.

Висновки і пропозиції. На основі запропонованих формальних умов виявлення синонімічних конструкцій у реченнях природної мови вдалося провести статистичну оцінку способів взаємозаміни у різних типах текстових документів (рис. 2).

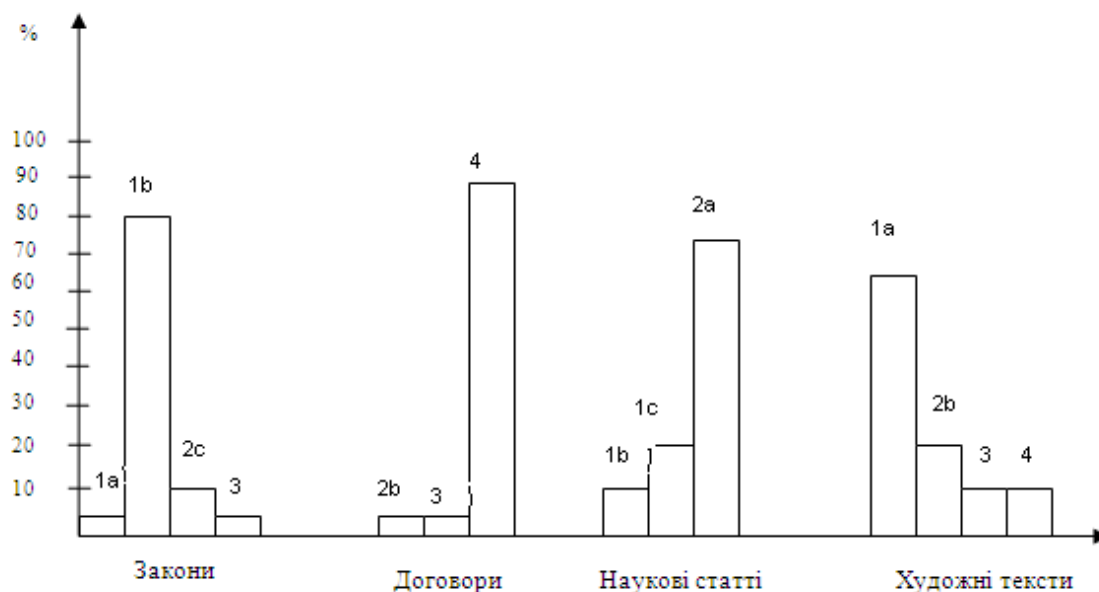


Рис. 2. Статистика використання способів взаємозаміни для різних типів електронних документів

Трансформації, що відбуваються з реченнями природної мови, прямо пропорційно впливають на тип тексту, у якому посилання для кожної умови вживається.

Таким чином, використання запропонованих формальних умов виявлення взаємозамінних синтаксичних конструкцій дає змогу в подальшому оптимізувати процес пошуку синонімів у різних типах документів, а також аналізувати текстову інформацію за змістом.

Список використаних джерел

1. Апресян Ю. Д. Исследования по семантике и лексикография. Т. 1 : Парадигматика / Ю. Д. Апресян. – М. : Языки славянских культур, 2009. – 568 с.
2. Алефиренко Н. Ф. Спорные проблемы семантики : [монография] / Н. Ф. Алефиренко. – М. : Гнозис, 2005. – 326 с.
3. Geeraerts Dirk. Cognitive linguistics: basic readings research / Dirk Geeraerts, Rene Dirven, John R. Taylor. – Berlin–New York : Mouton de cruyter, 2006. – 486 p.
4. Никитин М. В. Курс лингвистической семантики : учебное пособие / М. В. Никитин. – 2-е изд. – СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2007. – 819 с.
5. Кронгауз М. А. Семантика / М. А. Кронгауз. – М. : Академия, 2005. – 352 с.
6. Апресян Ю. Д. Лексическая семантика : в 2 т. Т. 1 / Ю. Д. Апресян. – М. : Восточная литература, 1995. – 422 с.
7. Режим доступа : <https://www.coursera.org/course/nlp>.
8. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – 3-е изд. – СПб. : Вильямс, 2013. – 1328 с.
9. Вавіленкова А. І. Теоретичні основи аналізу електронних текстів : [монографія] / А. І. Вавіленкова, Д. В. Ланде, О. Є. Литвиненко. – К. : НАУ, 2014. – 250 с.
10. Гасфилд Д. Строки, деревья и последовательности в алгоритмах / Д. Гасфилд. – СПб. : Невский диалект БВХ-Петербург, 2003.
11. Вавіленкова А. И. Извлечение смысла из предложений естественного языка / А. И. Вавіленкова // Программные продукты и системы. – Тверь : Главная редакция международного журнала НИИ "Центрпрограммсистем". – 2012. – № 4(100). – С. 87–90.

УДК 621.396.67

М.Б. Гумен, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Т.Ф. Гумен, старш. викладач

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

ПЕРЕДАЧА ДАНИХ У ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ СИСТЕМАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ MESH LITE

Н.Б. Гумен, канд. техн. наук

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

Т.Ф. Гумен, ст. преподаватель

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический университет", г. Киев, Украина

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ MESH LITE

Mykola Humen, PhD in Technical Sciences

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Tamara Humen, senior teacher

National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnical Institute", Kyiv, Ukraine

DATA TRANSMISSION IN TELEMETRY SYSTEMS USING MESH LITE TECHNOLOGY

Здійснено порівняльний аналіз бездротових технологій, що застосовуються в телеметрії. Запропоновано використовувати разом з технологією Mesh Lite частотний метод стрибків для зменшення впливу селективних завад. Доведено ефективність методу на моделі передавально-приймального тракту мережі Mesh Lite, розробленої у програмному середовищі MatLab Simulink 7.0.1.

Ключові слова: телеметрична система, бездротова мережна технологія, координатор, маршрутизація, селективна завада, частотний метод стрибків.

Выполнен сравнительный анализ беспроводных технологий, применяемых в телеметрии. Для уменьшения влияния селективных помех вместе с технологией Mesh Lite предложено использовать частотный метод прыжков. Эффективность метода доказана на модели передаточно-приемного тракта сети Mesh Lite, разработанной в программной среде MatLab Simulink 7.0.1.

Ключевые слова: телеметрическая система, беспроводная сетевая технология, координатор, маршрутизация, селективная помеха, частотный метод прыжков.

A comparative analysis of wireless technologies used in telemetry. To reduce the influence of selective interference with the technology Mesh Lite proposed to use frequency hopping method. Effectiveness of the method is proved on the model transfer and the receiving path network Mesh Lite, developed by the software environment MatLab Simulink 7.0.1.

Key words: telemetry system, wireless network technology, coordinator, routing, selective interference, frequency hopping method.

Постановка проблеми. Засоби телеметрії є потужним інструментом пізнання світу. Телеметрія широко застосовується в сільському господарстві, системах водопостачання і водовідведення, медицині, оборонній промисловості і космосі, розвідці, авто- і мотоспорті, супутниковому моніторингу, енергетиці, системах безпеки тощо.

Однією з головних проблем, яка виникає при проектуванні телеметричних систем, є вибір технології передачі даних. У сучасних системах збору й обробки інформації бездротові елементи займають важливе місце. Це пов'язано як з їх меншою вартістю в порівнянні з кабельними системами, так і з простотою побудови таких систем на сучасній елементній базі.

На сигнал, що передається по радіоінтерфейсу між модулями бездротової мережі, впливають різні зовнішні завади. Особливо небезпечними є селективні завади, потужність яких може змінюватися у широкому діапазоні. Тому актуальною є проблема застосування в телеметричних системах технологій передачі даних, що забезпечують високі показники їхньої якості та завадостійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як середовище передачі даних у телеметрії використовуються як бездротові (GSM/GPRS, ZigBee, WiFi, WiMax, LTE), так і дротові (телефонні, ISDN, xDSL, комп'ютерні) мережі (табл.) [1]. Ключовими чинни-

ками, що визначають вибір технології передачі інформації, є відстань, на яку передаються дані, швидкість передачі, сумісність з наявними стандартами, кількість пристроїв у мережі.

Таблиця

Порівняння основних характеристик бездротових технологій

Характеристики	GSM	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	Wi-Max	Mesh Lite
Діапазон частот	850/900/1800/1900 МГц	2,4 ГГц 868 МГц 915 МГц	2,4 ГГц	2,4/5,8 ГГц	2–11 ГГц	868 МГц
Швидкість передачі даних	14,4–36,6 кбіт/с	250 кбіт/с	до 723 кбіт/с	11–54 Мбіт/с	2 Мбіт/сек	9,6–38,4 кбіт/с
Типові відстані (зона дії)	Зона покриття GSM	30–70 м	10–100 м	50 м	5–8 км	500–4000 м
Структура мережі	Точка-точка	Точка-точка, зірка	Точка-точка, зірка (до 8 пристроїв)	Зірка	Зірка	Зірка, Back Bone
Складність впровадження	Низька	Середня-висока	Низька-середня	Висока	Дуже висока	Низька
Сумісність	Обладнання GSM	Обладнання ZigBee з тим же профілем	Обладнання Bluetooth з тим же профілем	Обладнання стандарту 802.11.g (b)	Обладнання стандарту 802.16	Обладнання виробника Telit RF

У багатьох практичних застосуваннях підвести дротові лінії зв'язку до об'єкта спостереження або надзвичайно складно, або неможливо фізично. У промислових телеметричних системах знаходять застосування практично всі стандарти бездротової передачі даних. Системи бездротової передачі даних характеризуються простотою інсталяції і високою надійністю. Так, телеметричні GSM/GPS-модеми дають змогу не тільки відстежувати переміщення певних об'єктів, але й отримувати в реальному часі дані про поточний стан його параметрів: температуру, рівень заряду акумуляторів, вологість, тиск, випромінювання тощо. Сучасні GSM-модеми мають розширений набір інтерфейсів, що дає змогу стикувати їх із великою кількістю промислового устаткування. Вони використовуються для отримання інформації про роботу заправних станцій, газорозподільних установок, стан систем живлення базових станцій стільникових операторів тощо.

Технологія Bluetooth широко застосовується як заміник кабельного з'єднання RS-232. Простота впровадження, висока завадостійкість каналу зв'язку і велика швидкість передачі даних роблять Bluetooth-рішення дуже привабливими для отримання телеметричної інформації від промислового устаткування.

Технологія ZigBee чудово підходить для збору інформації з сотень датчиків. ZigBee-трансивери Texas Instruments використовуються національними виробниками для побудови систем промислової автоматики. На базі ZigBee-модулів XBee компанії Maxstream у США реалізована система контролю рівня води у високогірних озерах.

За потреби передавати великі об'єми даних, наприклад відеоінформацію, у системах телеметрії можуть застосовуватися технології Wi-Fi і Wi-Max.

У випадках, коли потрібно передавати телеметричну інформацію між двома точками на відстань 10...100 метрів ідеально підходять мікросхеми трансиверів, що функціонують у безліцензійних (ISM – Industrial, Scientific, Medical – промислові, наукові, медичні) радіочастотних діапазонах 433, 868 і 2400 МГц. Ці частоти можуть використовуватися без оформлення відповідного дозволу за умови дотримання вимог

до ширини смуги пропускання, випромінюваної потужності (до 10 мВт для діапазону 434 МГц і до 25 мВт для діапазону 868 МГц) і призначення готового виробу.

Технологія Mesh Lite застосовується в системах контролю руху пасажирського транспорту, для управління джерелами вуличного освітлення та світлофорами, радіаційного контролю, в системах реєстрації аварійних параметрів, автоматичного регулювання, в медичному, біологічному моніторингу тощо.

Ця технологія має топологію на зразок «кластерне дерево» (Cluster Tree) з можливістю використання окремих вузлів мережі як ретранслятори повідомлень з метою збільшення зони покриття мережі. До переваг технології Mesh Lite відносять також низьке енергоспоживання всіх пристроїв мережі, невелику вартість, автоматичне налаштування і відновлення, можливість дистанційного керування кожним вузлом.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Основна ідея мережі Mesh Lite була запозичена з протоколу мереж ZigBee з урахуванням особливостей роботи в діапазоні 868 МГц. Радіохвилі цього діапазону добре проникають крізь бетонні конструкції. Менше загасають, проходячи через цегляну кладку, на відміну від радіохвиль 2,4 ГГц (Wi-Fi). Невелика довжина хвилі (35 см) дає змогу використовувати компактні спрямовані антени з великим коефіцієнтом підсилення. Стаціонарні мережі, зорієнтовані на частоту 868 МГц, мають перевагу за дальністю передачі і швидкістю обміну інформацією [1].

У приймачах та передавачах для частот 434 МГц і 868 МГц реалізована амплітудна і частотна модуляції, швидкість передачі інформації – 1...10 кбіт/с, у деяких типів прийомо-передавачів вона досягає 100 кбіт/с. Для кодування інформації, переважно, використовують Манчестерський або Бі-фазний коди. Випромінювана потужність і чутливість можуть задаватися програмно або апаратно. Для зниження енергоспоживання передбачені спеціальні режими роботи. Тому використання цих радіочастот для організації простих з'єднань типу "точка-точка" або "зірка" з невеликими швидкостями обміну може бути гарною альтернативою бездротових технологій діапазону 2,4 ГГц. Однак потрібно пам'ятати, що класична область застосування діапазонів ISM 433 і 868 МГц – це системи автоматизації й управління побутовими та промисловими приладами всередині будівель, контролю та управління віддаленими параметрами і виробничими процесами, радіокеровані іграшки, системи охоронної сигналізації та безпеки. Всі ці системи поєднує одне – досить обмежений радіус дії, менша в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц швидкість передачі інформації, відсутність розроблених стандартних протоколів зв'язку і засобів захисту переданої інформації, в міських умовах – висока завантаженість діапазонів.

Використання виносних високоефективних антен із великим підсиленням, а також ретрансляторів відкриває нові горизонти використання цих радіочастотних ресурсів. Так, наприклад, модулі, розроблені французькою компанією Telit RF, дають змогу організовувати мережі збору даних або керування з радіусом дії вузлів до 1,5 км. Однією з технологій для побудови такої мережі є Mesh Lite.

На сигнал, що передається по радіоінтерфейсу між модулями бездротової мережі, діють як широкосмугові завади, які рівномірно впливають на різні частотні канали, так і вузькосмугові, вплив яких поширюється на деякі з них. Останні завади називаються частотно-селективними. Вони можуть бути безперервними в часі або мати перервний характер, дрейфувати і мати змінну потужність у широкому діапазоні. Це може спричинити істотне погіршення якості радіоз'єднання або повне роз'єднання [5].

Один із способів боротьби з частотно-селективними завадами – збільшення потужності сигналу. Проте подібний метод є енергетично неефективним за великих потужностей завад. Іншим методом є розширення спектра прямою послідовністю (DSSS –

Direct-sequence spread spectrum). Для розширення спектра в системі DSSS вузькосмуговий сигнал множиться на високошвидкісну псевдовипадкову числову послідовність (ПЧП) імпульсів. Ступінь розширення спектра визначається відношенням частоти слідування імпульсів (частоти дискретизації) до частоти вузькосмугового сигналу. Виділення різних кодів ПЧП дає змогу розділяти користувачів у тому ж самому частотному діапазоні. Такий спосіб розділення каналів, як відомо, отримав назву множинного доступу з кодовим розділенням (Code-division multiple access – CDMA).

У стільниковому зв'язку більшого поширення здобув метод розширення спектра стрибками по частотам (FHSS – Frequency Hopping spread spectrum). За цим методом смуга частот Δf_c ділиться на $q = \Delta f_c / \Delta f_k$ (обов'язково, щоб $q \leq 79$) частотних каналів, кожний шириною Δf_k . Швидкість передачі символів у смузі Δf_k значно більше за швидкість стрибків із каналу на канал. Передача пакета даних здійснюється на одній частоті, тривалість передачі на якій $\tau_0 = 1/M$, де M – кількість стрибків частоти за секунду. Для модуляції носійної використовується гауссівська частотна модуляція (GFSK).

Для кожної абонентської станції виділяються свої, відмінні від інших, послідовності зміни частот. Головне, щоб зміна частотного каналу відбувалася синхронно, інакше можлива втрата якості або розрив з'єднання. Очевидно, що канали, які беруть участь у стрибках по частотам, не повинні бути задіяні на тому самому або сусідніх радіомодулях. Крім того, чим більша кількість каналів і чим більше вони рознесені один від одного, тим менша ймовірність виникнення частотно-селективних завад на інших каналах.

Таким чином, у результаті включення зазначеної процедури, якщо на якому-небудь каналі виникнуть завади, то їх дія буде розподілена між всіма встановленими з'єднаннями, що призводить до зменшення кількості помилок у кожному із з'єднань.

Стрибки між каналами можуть відбуватися послідовно від каналу до каналу й одночасно від циклу до циклу або випадково між каналами зі зміною порядку від циклу до циклу. Останній варіант є кращим, оскільки вважається, що він ефективніше розподіляє заваду і виключає випадок, коли завада діє періодично і може впливати на той самий канал.

Метод стрибків по частотах знайшов широке застосування і в системах Wireless Local Loop, в яких деякі ділянки дротової лінії зв'язку замінюються бездротовими, а також при створенні персональних мереж (WPAN). Це пов'язано з простотою практичної реалізації такого устаткування та з порівняно дешевим його виробництвом.

Технологія FHSS реалізована в модернізованій широкосмуговій версії популярного стандарту DECT ISM для діапазону частот 2400...2483,5 МГц. При цьому носійні частоти звичайного (базового) DECT постійно змінюються в межах діапазону ISM. Динамічний вибір каналу здійснюється між послідовностями частот так само, як і у звичайному DECT при виборі каналу між носійними частотами. Стандартом DECT ISM встановлений псевдовипадковий закон зміни частот. Всього встановлено десять наборів стрибків з номерами $m = 0, 1, \dots, 9$. Послідовність стрибків у кожному наборі визначена у специфікації стандарту. Теоретично, використовуючи DECT ISM, можна через радіоінтерфейс забезпечити сумарну швидкість передачі інформації 9...11 Мбіт/с.

Враховуючи особливості методу стрибків по частотах, доцільно встановити, наскільки ефективним є застосування цього методу в протидії частотно-селективним завадам під час використання технології Mesh Lite для передачі даних у телеметричних системах.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є обґрунтування доцільності використання технології Mesh Lite як середовища передачі інформації в телеметричних системах та ефективності застосування методу стрибків по частотах для підвищення стійкості цієї технології до селективних завад.

Виклад основного матеріалу. Технологія Mesh Lite є оригінальною розробкою французької фірми Telit RF і підтримується її радіомодемами та радіомодулями [2]. Всі радіомодулі і радіомодеми Telit RF містять вбудоване програмне забезпечення, відрізняються частотним діапазоном, потужністю передачі і конструктивним виконанням, що дає змогу швидко адаптувати їх для вирішення завдань телеметрії.

Особливий інтерес для телеметрії представляють модулі сімейства Tiny One Pro і Tiny One Plus [4]. Для розгортання мережі Mesh Lite необхідно як мінімум два прийомо-передавальні пристрої на основі радіомодулів сімейств Tiny One Pro або Tiny One Plus, один з яких повинен бути сервером телеметрії. Конфігурування всіх вузлів мережі Mesh Lite здійснюється програмою Mesh Manager PC tools. Топологія Mesh Lite максимально ефективно використовує виділену смугу частот, поєднуючи прийнятну швидкість передачі даних і надійність функціонування мережі.

Структура мережі. Мережа Mesh Lite включає три типи пристроїв (рис. 1):

- координатор або майстер мережі – пристрій найвищого рівня мережевої топології, який може обмінюватися даними тільки з пристроями, що знаходяться в його безпосередньому підпорядкуванні та керує роботою мережі загалом;

- маршрутизатор – пристрій, який є посередником між пристроями більш високого і низького рівнів; може виконувати функції ретранслятора, бути кінцевим одержувачем даних, підпорядковуватися безпосередньо координатору або іншому маршрутизатору;

- кінцевий пристрій є найнижчим рівнем мережевої топології Mesh Lite, джерелом або одержувачем даних; забезпечує можливість взаємодії тільки з маршрутизатором.

Кожен пристрій мережі Mesh Lite має унікальну MACC-адресу з ієрархічною структурою, що дає змогу розрізняти пристрої різних рівнів.

Найбільш вразливою ланкою мережі Mesh Lite є координатор. У разі його виходу з ладу працездатність мережі порушується. Відмова пристрою будь-якого іншого рівня не є критичною. Якщо вийшов із ладу один із маршрутизаторів, сусідні з ним пристрої автоматично знаходять інший вузол, здатний взяти на себе його функції. Такий вибір здійснюється, по-перше, за рівнем сигналу RSSI (Received Signal Strength Indication – індикація рівня сигналу) і, по-друге, за кількістю вільних MACC-адрес. Перевагу буде надано вузлу з найбільшим рівнем RSSI і достатньою кількістю вільних MACC-адрес.

Найпоширенішими видами топології мережі Mesh Lite є «зірка» та BackBone. У «зірці» відсутні маршрутизатори, а кожен кінцевий пристрій безпосередньо з'єднується з координатором [3]. У топології BackBone до одного координатора послідовно підключені маршрутизатори, кожен з яких керує своїм набором кінцевих пристроїв.

Мікропрограмне забезпечення Mesh Lite від компанії Telit RF забезпечує високу економічність і керування енергозбереженням. Із цією метою реалізовані два варіанти функціонування мережі. У першому координатор мережі постійно активний. Він контролює мережу і здійснює обмін даними з максимально високою швидкістю. За сигналами координатора окремі ділянки мережі періодично "прокидаються" і обмінюються повідомленнями. При другому варіанті вся мережа Mesh Lite знаходиться в режимі «сну», включаючи координатор. Обмін даними відбувається в межах окремих сегментів мережі, які періодично "прокидаються".

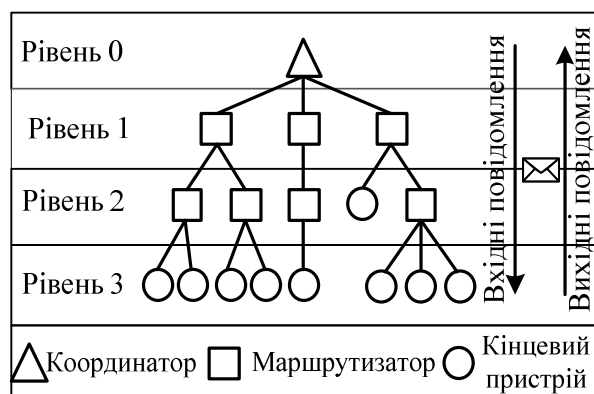


Рис.1. Структура мережі Mesh Lite

Структура часових пакетів Mesh Lite запозичена в ZigBee. Пакет складається із сигналу маяка та робочого кадру (рис. 2). Робота всіх пристроїв мережі Mesh Lite синхронізується сигналом маяка (Beacon), який періодично випромінюється ведучим у межах пристроїв певної групи. В першу чергу маяк передає інформацію про часову синхронізацію. Для того, щоб не пропустити початок сигналу маяка, пристрої нижнього рівня повинні «прокинутися» раніше. Коли з'являється сигнал маяка, пристрої синхронізують свої таймери [4].

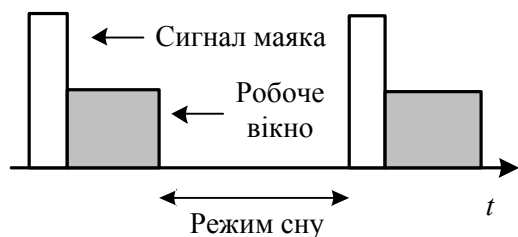


Рис. 2. Структура часових пакетів мережі Mesh Lite

Сигнал маяка містить інформацію про період повторення, максимальну тривалість робочого кадру, ідентифікаційний номер мережі, кількість вільних MACC-адрес, кількість пристроїв, які можуть бути під'єднані до маршрутизатора і його відстань до координатора, список приймальних пристроїв, для яких призначене вхідне повідомлення.

За сигналом маяка настає робочий кадр (Super Frame), що складається з двох основних частин, перша з яких відводиться для передачі пакетів даних вхідних повідомлень, друга – вихідних. Тривалість першої частини може бути нульовою, якщо вхідне повідомлення не очікується. Разом із тим вона не може перевищувати тривалість максимального робочого кадру. Вхідні повідомлення отримуються одне за одним відповідно до списку пристроїв, що міститься в сигналі маяка. Кожен пристрій нижнього рівня має дочекатись своєї черги, щоб завантажити своє повідомлення. В другій частині пристрої нижнього рівня можуть відправляти свої повідомлення за допомогою протоколу CSMA/CA.

Інформація про тривалість робочого вікна, а також співвідношення його частин передається у складі сигналу маяка. У паузах між сигналами маяка і робочими вікнами пристрої мережі знаходяться в режимі сну. Якщо будь-який пристрій не встигає зробити передачу або прийом даних протягом одного робочого вікна, цей процес поділяється на декілька робочих вікон.

Дослідження ефективності частотного методу стрибків у технології Mesh Lite. Як зазначалось, FHSS сигнали є більш завадостійкими до частотно-селективних завад, ніж DSSS сигнали [5]. Дійсно, потужність DSSS сигналу розподіляється вздовж всього частотного діапазону (рис. 3). У будь-якому його окремому сегменті потужність мала. Внаслідок цього навіть незначні за потужністю частотно-селективні завади можуть легко перекрити сигнал.

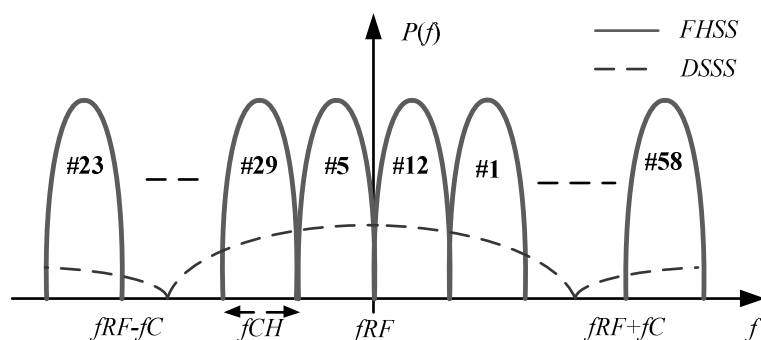


Рис. 3. Спектри потужності сигналів FHSS і DSSS

При передачі FHSS сигналів на частину частотної смуги на короткий проміжок часу припадає значно більша потужність, що забезпечує зменшення впливу завад на корисний сигнал у певних сегментах смуги частот.

Для передачі DSSS сигналів використовуються статично виділені зони частотної смуги. Частотно-селективна завада в будь-якій значній частині цієї виділеної зони впливатиме на передачу і може повністю розірвати зв'язок. При передачі FHSS сигналів сильні завади можуть зашкодити передачі на певній частоті, оскільки частота сигналу постійно змінюється внаслідок стрибка. Як наслідок, під дією завад буде зменшена пропускна здатність, але зв'язок триватиме.

Моделювання передавально-приймального тракту мережі Mesh Lite. Для дослідження було розроблено модель тракту в пакеті розширення Matlab 7.0.1 Simulink. Модель складається з п'яти логічно взаємопов'язаних блоків. Блок 1 являє собою джерело імпульсного сигналу. Передавач (блок 2) виконує такі функції, як формування інформаційних кадрів, здійснення модуляції сигналу та реалізацію методу стрибків по частотах. Канал, по якому передається інформація (блок 3), додає до сигналу селективні завади. У приймачі (блок 4) здійснюється виділення інформаційних кадрів і демодуляція сигналу. У блоці 5 порівнюються вхідний і вихідний сигнали. Результати моделювання передачі даних відображаються за допомогою блока Signal Visualization. Канал, по якому передаються дані, представлений блоком Multipath Channel.

Дослідження стійкості моделі Mesh Lite до селективних завад. Для аналізу стійкості моделі Mesh Lite до селективних завад були зафіксовані значення кількості помилок у блоці бітів BER (Bit Error Rate) при зміні значення сигнал/шум (SND (dB)) у каналі в межах 3...39 дБ.

Розглянемо особливості моделювання методу стрибків по частотах. Потік даних передається зі швидкістю 38,4 кбіт/с і модулюється за допомогою GFSK. Модулятор GFSK фактично передає сигнал одиниці на частоті 150 кГц відносно носійної та сигнал нуля на частоті -150 кГц відносно носійної. Цей процес забезпечується блоком Frequency hopping GFSK Modulator, з використанням блоку Continuous Phase Modulation (CPM) для задання таких параметрів, як, наприклад, індекс модуляції. Інформаційний символ розбивається на 100 відліків із кроком дискретизації 1 мкс, а блок модулятора видає комплексний сигнал, що центрується навколо нульової частоти. 62 500 відліків утворює кадр тривалістю 625 мкс.

Для уникнення селективних завад тайм-слот передається на різних носійних частотах. У цій моделі це досягається множенням основної смуги частот на одну з 23 можливих носійних частот у діапазоні ± 11 МГц. Інформаційний сигнал передається в діапазоні 848...872 МГц. Носійний сигнал генерується блоком MFSK. В цій моделі послідовність стрибків задається простим генератором випадкових чисел.

Результати дослідження свідчать про те (рис. 4), що зі збільшенням значення сигнал/шум зменшується кількість помилок у блоці бітів. Однак у разі використання методу стрибків по частотах кількість помилок (на рис. 4 пунктирна лінія) зменшилася приблизно в два рази. При дослідженні моделі без використання цього методу найбільша кількість помилок становить $46,7294 \cdot 10^{-4}$ для відношення сигнал/шум 3 дБ; якщо ж метод стрибків по частотах застосовується – $22,403 \cdot 10^{-4}$ (на рис. 4 суцільна лінія). Найменші значення кількості помилок при відношенні сигнал/шум 39 дБ становили $5,8413 \cdot 10^{-4}$ і $0,6127 \cdot 10^{-4}$ відповідно.

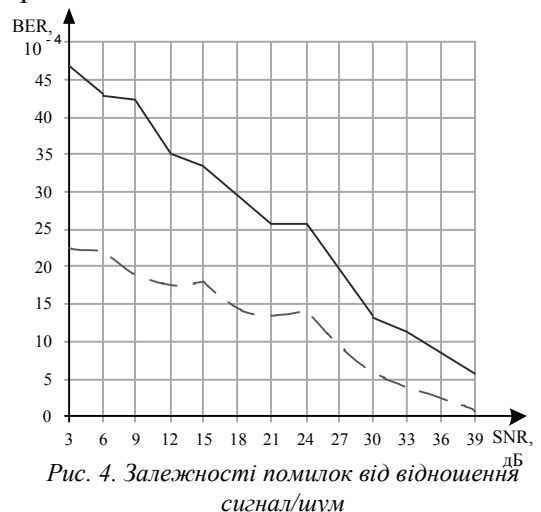


Рис. 4. Залежності помилок від відношення сигнал/шум

Висновки і пропозиції. Головні вимоги, які задовольняють сучасні телеметричні системи, є такими: можливість одночасної передачі великої кількості різних параметрів, забезпечення заданої точності, дальності, великої швидкості передачі даних, високий рівень надійності та автоматизації процесів збору, передачі й обробки даних.

Перевагами застосування в телеметрії бездротової передачі даних є простота інсталяції, висока надійність радіочастотних систем, простота створення таких систем на сучасній елементній базі, можливість встановлення з'єднання у випадках, коли підвести проводові лінії зв'язку до об'єкта спостереження складно або неможливо.

До переваг технології Mesh Lite відносяться низьке енергоспоживання всіх пристроїв мережі та невелика вартість, автоматичне налаштування і відновлення мережі, можливість дистанційного керування кожним вузлом, підвищена дальність зв'язку завдяки функції ретрансляції. До недоліків – невисока швидкість передачі.

Список використаних джерел

1. Аникин А. И. Особенности построения радиосети Mesh Lite в частотном диапазоне 868 МГц / А. И. Аникин // Беспроводные технологии. – 2008. – № 3. – С. 35–40.
2. Аникин А. И. Радиомодемы компании One RF Technology для диапазонов 434/868 МГц: основные режимы работы / А. И. Аникин // Беспроводные технологии. – 2009. – № 2. – С. 37–41.
3. Кривченко Т. В. Радиомодули и радиомодемы компании One RF для диапазонов 433 и 868 МГц / Т. В. Кривченко // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2. – С. 38–40.
4. Татополос К. Реализация ячеистой сети с высокой дальностью действия / К. Татополос // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2. – С. 52–53.
5. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.

УДК 621.396.2.019.4:621.391.254

С.В. Зайцев, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО ДЕКОДУВАННЯ ТУРБОКОДІВ

С.В. Зайцев, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ ТУРБОКОДОВ

Serhii Zaitsev, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

A MATHEMATICAL MODEL OF FUZZY DECODING OF TURBOCODES

Запропоновано математичну модель нечіткого декодування турбокодів з використанням алгоритму Max Log Map. Застосування математичної моделі під час моделювання статистичних характеристик достовірності бездротових систем дозволяє отримати такі самі характеристики, як і при застосуванні алгоритму Log Map, але при цьому кількість елементарних операцій, необхідних для здійснення процедури декодування, зменшується. Запропоновані результати можна використати для підвищення достовірності систем передачі інформації в поєднанні з системами автоматичного управління.

Ключові слова: турбокоди, нечіткі множини, алгоритми декодування.

Предложена математическая модель нечеткого декодирования турбокодов с использованием алгоритма Max Log Map. Применение математической модели во время моделирования статистических характеристик достоверности беспроводных систем позволяет получить такие же самые характеристики, как и при применении алгоритма Log Map, но при этом количество элементарных операций, необходимых для осуществления процедуры декодирования, уменьшается. Предложенные результаты можно использовать для повышения достоверности систем передачи информации в объединении с системами автоматического управления.

Ключевые слова: турбокоды, нечеткие множества, алгоритмы декодирования.

A mathematical model of fuzzy decoding turbocodes using an algorithm Map Log Map. Application of the mathematical model during simulation of statistical characteristics allows the reliability of wireless systems receive the same characteristics such as when applying the algorithm Log Map, but the number of elementary operations required to perform decoding procedure decreases. Proposed results can be used to improve the reliability of data transmission systems in association with the automatic control system.

Key words: turbocodes, fuzzy sets, decoding algorithms.

Постановка проблеми. Для підвищення достовірності інформації в бездротових системах застосовуються завадостійкі коди. Найбільш ефективними серед них є турбокоди (ТК). За енергетичною ефективністю ТК поступаються теоретичному граничному значенню лише 0,5 дБ [1]. Турбокоди застосовуються у системах мобільного зв'язку третього покоління 3G (cdma2000, cdma2000 1xEV-DO, cdma2000 1xEV-DV, UMTS), четвертого покоління 4G (LTE), у системах зв'язку з далеким космосом CCSDS для пе-

редачі телеметричної інформації з космічних апаратів, у системах супутникового цифрового телебачення DVB-RCS [2–7]. Роботи з підвищення достовірності систем передачі інформації проводяться по всьому світу і донині.

Аналіз досліджень і публікацій. Відомо декілька підходів до підвищення достовірності систем з ТК. Підходи [8–10] полягають в оптимізації перемешувача у структурі ТК. У цьому випадку енергетичний вииграш відбувається при відношенні сигнал-завада в області «порога помилок» ТК.

Інший підхід [11] полягає в застосуванні додаткових біт після завершення кодування блока даних з метою примусового переведення решітчастої діаграми рекурсивного систематичного згорткового коду (РСЗК) ТК у початковий стан. При цьому забезпечується енергетичний вииграш у 0,1–0,3 дБ.

Відомий метод [12] враховує інформацію про стан каналу зв'язку при декодуванні ТК. Енергетичний вииграш при цьому становить 0,1–0,2 дБ.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Підвищити достовірності систем з ТК можна завдяки оптимізації процесу декодування ТК за рахунок використання нечітких правил прийняття рішень.

Мета статті. Метою роботи є розроблення математичної моделі оптимізації процесу декодування ТК за рахунок використання функцій приналежності для прийняття рішень при розрахунку логарифмічних відношень функцій правдоподібності про передані біти інформаційної послідовності.

Виклад основного матеріалу. Передбачається, що канал зв'язку гауссівський і має ідеальну імпульсну характеристику $h_c(t)=1$, внаслідок чого сигнал спотворюється тільки присутністю флуктуаційних шумів і навмисних завад.

Розглянемо принцип роботи кодера та декодера ТК.

Схема кодера турбокоду використовує РСЗК зі швидкістю $1/n$ виду: $(1, g_1/g_0, \dots, g_{n-1}/g_0)$, де g_0 – поліноміальний генератор зворотного зв'язку, а $g_1, \dots, g_{n-1}$ – поліноміальні генератори прямих зв'язків. Кожен РСЗК виконує кодування інформаційної послідовності по своїй діаграмі [13; 14].

Послідовність на виході кодера ТК має вигляд: $\bar{X} = (\bar{X}^C, \bar{X}^{\Pi})$, де $\bar{X}^C = \bar{U}$ – систематичний вихід кодера, а $\bar{X}^{\Pi} = (\bar{X}^{\Pi 1}, \bar{X}^{\Pi 2})$ – перевірочний вихід кодера ТК. При цьому $\bar{X}^{\Pi 1} = (\bar{X}^{\Pi 11}, \dots, \bar{X}^{\Pi 1v})$ – перевірочний вихід РСЗК 1, $\bar{X}^{\Pi 2} = (\bar{X}^{\Pi 21}, \dots, \bar{X}^{\Pi 2v})$ – перевірочний вихід РСЗК 2, v – загальна кількість перевірочних символів кожного РСЗК кодера ТК.

Демодульована послідовність символів подається на декодери 1 і 2: $\bar{Y}^1 = (L_c \bar{Y}^{C1}, L_c \bar{Y}^{\Pi 1})$ – для декодера 1, де $\bar{Y}^{\Pi 1} = (\bar{Y}^{\Pi 11}, \dots, \bar{Y}^{\Pi 1v})$, L_c – параметр каналної “надійності”. Відповідно $\bar{Y}^2 = (L_c \bar{Y}^{C2}, L_c \bar{Y}^{\Pi 2})$ – для декодера 2, де $\bar{Y}^{\Pi 2} = (\bar{Y}^{\Pi 21}, \dots, \bar{Y}^{\Pi 2v})$. $\bar{Y}^{C1} = \bar{Y}^C$, $\bar{Y}^{C2} = \bar{Y}^C$ – послідовності систематичних символів з урахуванням відповідної операції перемешування.

Розглядається такт роботи в момент часу t .

Оскільки ТК застосовується в каналах з підвищеним рівнем шуму, то на приймальній стороні приймаються рішення в умовах невизначеності.

Процес декодування розглядається як задача пошуку оптимального рішення в умовах невизначеності:

$$\begin{aligned} & \min Q(\vec{x}, \vec{z}, \vec{L}_a) \\ & g_i(\vec{x}, \vec{z}, \vec{L}_a) = 0, \quad i = \overline{1, N_i}, \quad N_i \leq N_u, \\ & G_j(\vec{x}, \vec{z}, \vec{L}_a) \in \{\geq, \leq\}, \quad j = \overline{1, N_j} \end{aligned} \quad (1)$$

де $Q(*)$ – показник оптимальності, $\vec{x}, \vec{z}, \vec{L}_a$ – відповідно послідовності переданих біт, вибірки білого гауссівського шуму, апріорна інформація про передані біти.

У зв'язку з тим, що рішення на прийомній стороні приймаються за умов невизначеності, будемо розглядати нечітке описання функції $Q(*)$. При цьому задача (1) буде формулюватися таким чином:

$$\begin{aligned} Q(\vec{x}, \vec{z}, \vec{L}_a) &\leq q_0, \\ g(\vec{x}, \vec{z}, \vec{L}_a) &\leq 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де хвиляста лінія в нерівностях свідчить про їх нечіткість, q_0 – задане значення функції мети $Q(*)$.

Функції приналежності нечіткої мети та обмежень записуються у вигляді:

$$\mu_M(\Gamma) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } Q(*) \leq q_0 - a, \\ \mu_1(\Gamma, a), & \text{якщо } q_0 - a < Q(*) < q_0, \\ 1, & \text{якщо } Q(*) \geq q_0, \end{cases} \quad \mu_C(\Gamma) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } g(*) \geq b, \\ \mu_2(\Gamma, b), & \text{якщо } 0 < g(*) < b, \\ 1, & \text{якщо } g(*) \leq 0, \end{cases}$$

де $\mu_1, \mu_2 : \Gamma \rightarrow [0; 1]$ – функції, які характеризують ступінь виконання відповідних нерівностей.

На першому етапі необхідно визначити показник оптимальності та ввести нечітку множину рішень.

Нехай $\Gamma = \{\gamma\}$ – задана множина альтернатив, тоді нечітка мета M буде ототожнюватися з фіксованою нечіткою множиною M , яка описується функцією приналежності $\mu_M : \Gamma \rightarrow [0; 1]$. Дійсне представлення «м'якого» рішення або логарифмічне відношення функцій правдоподібності (ЛВФП) поза декодером визначається виразом [13; 14]

$$L(x_t | y_t) = \ln \frac{P(y_t | x_t = +1)}{P(y_t | x_t = -1)} + \ln \frac{P(x_t = +1)}{P(x_t = -1)} = L_a(x_t) + L(y_t | x_t), \quad (3)$$

де $L(y_t | x_t)$ – ЛВФП y_t , яке одержується завдяки виміру y_t на виході каналу при чергуванні умов, що може бути переданий $x_t = +1$ або $x_t = -1$, а $L_a(x_t)$ – апріорне ЛВФП біта даних x_t . Для спрощення позначень рівняння (3) може бути переписане таким чином [13; 14]:

$$L'(x_t) = L_c(y_t) + L_a(x_t). \quad (4)$$

Тут $L_c(y_t)$ означає, що член ЛВФП виходить у результаті каналних вимірів, зроблених у приймачі. Для систематичних кодів ЛВФП на виході декодера дорівнює наступному [13; 14]:

$$L(x_t) = L'(x_t) + L_e(x_t). \quad (5)$$

У цьому виразі $L'(x_t)$ – ЛВФП поза демодулятором (на вході декодера), а $L_e(x_t)$ – «зовнішнє» ЛВФП, що представляє зовнішню інформацію, що впливає з процесу декодування. З рівнянь (4) і (5) вихідне ЛВФП декодера набуде вигляду:

$$L(x_t) = L_c(y_t) + L_a(x_t) + L_e(x_t). \quad (6)$$

Знак $L(x_t)$ є твердим рішенням про символ x_t , а модуль $|L(x_t)|$ – ступенем надійності (правдоподібності) цього рішення.

Декодер 1 відповідно до свого алгоритму виробляє «м'які» рішення про декодовані символи (вихідне ЛВФП), які складаються з трьох частин [13; 14]:

$$L^1(x_t^C) = L_c \cdot y_t^{C1} + L_a^1(x_t^C) + L_e^1(x_t^C), \quad (7)$$

де x_t^C – систематичний символ кодера ТК.

При цьому «зовнішня» інформація декодера 1 про символ x_t^C , що є апіорною для декодера 2 (з урахуванням операції перемешення), набуде вигляду [13; 14]

$$L_e^1(x_t^C) = L_a^2(x_t^C) = L^1(x_t^C) - L_a^1(x_t^C) - L_c \cdot y_t^{C1}. \quad (8)$$

Другий елементарний декодер, одержавши апіорні відомості про інформаційні символи, робить аналогічні обчислення, визначаючи свою «зовнішню» інформацію про символ x_t^C [14]:

$$L_e^2(x_t^C) = L_a^1(x_t^C) = L^2(x_t^C) - L_a^2(x_t^C) - L_c \cdot y_t^{C2}, \quad (9)$$

яка надходить на вхід декодера 1 наступної ітерації декодування.

Після виконання необхідної кількості ітерацій або у випадку примусової зупинки ітеративної процедури декодування виносяться рішення про декодовані символи:

$$x_t^C = \begin{cases} 1, & \text{якщо } L(x_t^C) \geq 0 \\ 0, & \text{якщо } L(x_t^C) < 0 \end{cases}.$$

Позначимо кількість змін знака при перетворенні величини L_a в L_e на послідовному декодері як cs (change of sign). Кількість змін знака на i -му послідовному декодері j -й ітерації декодування – cs_{ij} . Значення величини буде обчислюватись, як сумарна кількість змін знака при переходах $L_a \rightarrow L_e$ для всіх N інформаційних біт, що обробляються i -м декодером j -й ітерації ТК.

Якщо у процесі декодування кількість змін знака $L_a^i(x_t^C) \rightarrow L_e^i(x_t^C)$ дорівнює нулю, то можна стверджувати, що прийнято «жорстке» рішення про декодований біт, і після кожного наступного декодера значення ЛВФП про переданий біт буде набувати все меншого (якщо був переданий біт «0») або все більшого (якщо був переданий біт «1») значення. Може виникнути ситуація, внаслідок великого значення дисперсії шуму в каналі, що у процесі декодування кількість змін знака $L_a^i(x_t^C) \rightarrow L_e^i(x_t^C)$ після виконання процедур ітеративного декодування всіма D декодерами не дорівнює нулю, внаслідок чого виникає невизначеність про значення переданого біта. Це призводить до виникнення помилки декодування з ймовірністю 0,5.

Таким чином, є чотири події:

Подія 1 – A_1 . Кількість змін знака $L_a^i(x_t^C) \rightarrow L_e^i(x_t^C)$, $i \in \overline{1, D}$ у процесі ітеративного декодування після i -го декодера дорівнює нулю. Прийняте «жорстке» рішення, що було передано біт $x_t^C = 1$.

Подія 2 – A_2 . Кількість змін знака $L_a^i(x_t^C) \rightarrow L_e^i(x_t^C)$, $i \in \overline{1, D}$ у процесі ітеративного декодування після i -го декодера дорівнює нулю. Прийняте «жорстке» рішення, що було передано біт $x_t^C = 0$.

Подія 3 – A_3 . Кількість змін знака $L_a^i(x_t^C) \rightarrow L_e^i(x_t^C)$, $i \in \overline{1, D}$ у процесі ітеративного декодування не дорівнює нулю. З ймовірністю 0,5 приймається рішення, що було передано біт $x_t^C = 1$.

Подія 4 – A_4 . Кількість змін знака $L_a^i(x_t^C) \rightarrow L_e^i(x_t^C)$, $i \in \overline{1, D}$ у процесі ітеративного декодування не дорівнює нулю. З ймовірністю 0,5 приймається рішення, що було передано біт $x_t^C = 0$.

Враховуючи вищевикладене, отримаємо кількісну характеристику стану каналу, використовуючи оцінку невизначеності декодування.

Отримаємо кількісну оцінку невизначеності, використовуючи зміни знака $L_a^i(x_t^C) \rightarrow L_e^i(x_t^C)$, $i \in \overline{1, D}$ у процесі ітеративного декодування: виконання циклу: якщо $L_a^i(x_t^C)L_e^i(x_t^C) < 1$, то $F = F + 1$, $i \in \overline{1, D}$, $t \in \overline{1, N}$ по всім декодерам та для всіх біт блоку N . Нормалізуємо величину F :

$$F^* = \frac{F}{NI}, \quad (10)$$

де N – кількість біт у блоці, I – кількість ітерацій декодування.

Принцип нечіткого ітеративного турбодекодування буде полягати в розрахунку математичного очікування показника оптимальності $M_{F^*} = \frac{1}{L} \sum_i^L F_i^*$ протягом вікна спостереження розміром L та змінення нечітких параметрів алгоритму декодування для досягнення нечіткої мети.

Як показник оптимальності можна використовувати середньоквадратичну похибку $RMSE$ (Root Mean Square Error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{h=1}^M (F_h^* - F_n^*)^2},$$

де L – розмір вікна спостереження, F_n^* – задане нормалізоване значення показника невизначеності.

Перепишемо функції приналежності, які будемо використовувати в алгоритмах декодування *Map*, *Max Log Map*, *Log Map*:

$$\mu_A(RMSE) = \begin{cases} \varepsilon, & \text{якщо } RMSE \leq \varepsilon, \\ p + \frac{p \cdot RMSE}{3}, & \text{якщо } \varepsilon < RMSE \leq 0,5, \\ p + \frac{p \cdot RMSE}{5}, & \text{якщо } 0,5 < RMSE \leq 0,7, \\ p + \frac{p \cdot RMSE}{10}, & \text{якщо } 0,7 < RMSE \leq 1, \end{cases}$$

$$\mu_B(RMSE) = \begin{cases} \varepsilon, & \text{якщо } RMSE \leq \varepsilon, \\ p - \frac{p \cdot RMSE}{3}, & \text{якщо } \varepsilon < RMSE \leq 0,5, \\ p - \frac{p \cdot RMSE}{5}, & \text{якщо } 0,5 < RMSE \leq 0,7, \\ p - \frac{p \cdot RMSE}{10}, & \text{якщо } 0,7 < RMSE \leq 1, \end{cases}$$

де ε – граничне значення середньоквадратичної помилки, p – деякий заздалегідь заданий коефіцієнт.

Алгоритм вибору значення функції приналежності такий:

Крок 1. Одержуємо значення $RMSE$ при поточному значенні коефіцієнта p .

Крок 2. За допомогою нечітких множин одержуємо значення функцій приналежності $\mu_A(RMSE)$ і $\mu_B(RMSE)$.

Крок 3. Знаходимо перетинання (узяття мінімуму) нечітких множин $\mu_A(RMSE)$ і $\mu_B(RMSE)$: $\mu_D^i(RMSE) = \min\{\mu_A^i(RMSE); \mu_B^i(RMSE)\}$.

Крок 4. Порівнюємо $\mu_D^i(RMSE)$ з попереднім значенням $\mu_D^{i-1}(RMSE)$.

Крок 5. Якщо $\mu_D^i(RMSE) < \mu_D^{i-1}(RMSE)$, то призначається нове значення коефіцієнта p , якщо $\mu_D^i(RMSE) > \mu_D^{i-1}(RMSE)$, те значення коефіцієнта p залишається без змін.

Функцію приналежності будемо використовувати при розрахунку перехідної рекурсії в алгоритмах декодування ТК:

$$\gamma_k(s',s) = A_k \cdot B_k \cdot \exp \left[\frac{1}{2} \cdot L_a(x_k^c) \cdot \mu_M(RMSE) \cdot x_k^1 + L_c \cdot \frac{1}{2} \cdot y_k^{1,s} \cdot x_k^1 \right] \exp \left[\sum_{i=2}^q \left(L_c \cdot \frac{1}{2} \cdot y_k^{i,p} \cdot x_k^i \right) \right],$$

де x_k^c – відповідно систематичний символ кодера ТК і перевіірочні символи РСЗК 2 до проходження каналу з флуктуаційним шумом і навмисними завадами; $y_k^{1,s}$, $y_k^{i,p}$, $i \in (1, v)$ – систематичний символ кодера ТК і перевіірочні символи РСЗК 2 після проходження каналу з флуктуаційним шумом і навмисними завадами; $L_a(x_k^c)$ – апіорна інформація декодера; $\mu_M(RMSE)$ – функція приналежності, L_c – параметр каналної «надійності»; v – кількість перевіірочних символів РСЗК, $v = q - 1$, де q – загальна кількість символів РСЗК (систематичний і перевіірочні).

Для отримання характеристик достовірності передачі інформації з використанням запропонованої моделі було проведено статистичне імітаційне моделювання системи передачі з ТК. Використовувався ТК з двома та трьома компонентними кодерами (декодерами), псевдовипадковим перемежувачем, кількістю біт у переданому (прийнятому) блоці $N = 1000$, алгоритмом декодування *Max Log Map*, 8 ітерацій декодування, швидкістю кодування ТК $R = 1/3$, 8 ітераціями декодування.

На рис. 2 показано графік залежності середньої ймовірності бітової помилки декодування $P_{B \text{ дек}}$ від відношення сигнал-завада $h_j^2 = E_b / G_j$ (E_b – енергія біта), отриманий у результаті імітаційного моделювання.

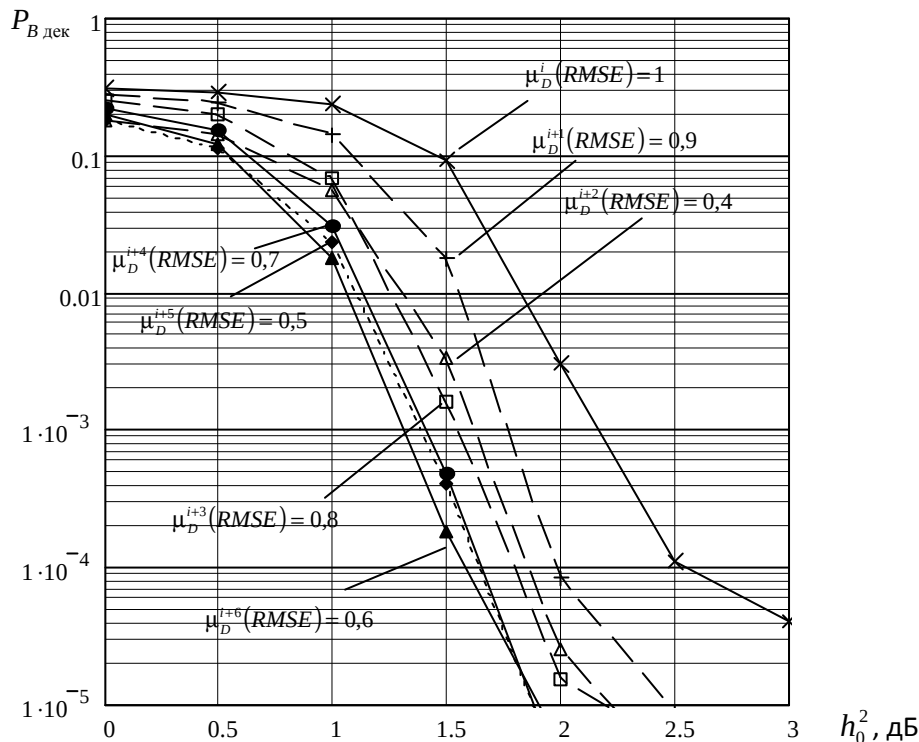


Рис. 2. Результати імітаційного моделювання

Використання параметра $\mu_D^{i+6}(RMSE)=0,6$ в алгоритмі декодування дозволяє підвищити ефективність застосування запропонованої математичної моделі декодування до 1 дБ у порівнянні з використанням параметра $\mu_D^i(RMSE)=1,0$. Результати імітаційного моделювання отримані виходячи з достовірності $\alpha=0,95$, $t_\alpha=1,95$ (аргумент функції Лапласа), відносної точності $d=0,1$.

Висновки і пропозиції. Отриманий новий метод оптимізації декодування турбокодів за рахунок додаткового використання показника невизначеності й функцій приналежності для прийняття рішень при розрахунку логарифмічних відносин функцій правдоподібності про передані біти інформаційної послідовності в алгоритмах декодування турбокодів.

Застосування математичної моделі розрахунку перехідних рекурсій у функціях приналежності алгоритмів декодування турбокодів з використанням додаткових функцій і аргументів дозволило зменшити складність реалізації процедури декодування турбокодів.

Результати імітаційного моделювання бездротової телекомунікаційної системи з турбокодами показали, що використання запропонованого методу дозволяє поліпшити їхні статистичні характеристики достовірності.

Список використаних джерел

1. Berrou C. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes / C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima // Proc. Int. Conf. On Commun., May 1993. – 1993. – P. 1064–1070.
2. Holma H. HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications / H. Holma, A. Toskala. – John Wiley & Sons, 2006. – 268 p.
3. Valenti M. The UMTS turbo code and an efficient decoder implementation suitable for software-defined radios / M. Valenti, J. Sun // Int. Journal of Wireless Inf. Networks. – 2001. – Vol. 8, № 4. – P. 203–215.
4. Consultative Committee for Space Data Systems “Recommendations for space data systems, telemetry channel coding” // BLUE BOOK. – 1998. – May.
5. 3rd Generation Partnership Project “Multiplexing and channel coding (FDD)” // Recommendation 3G TS 25.212 V3.1. 1 (1999-12). – 1999. – June.
6. Digital Video Broadcasting (DVB): Interaction channel for satellite distribution systems (DVB-RCS) // ETSI EN 301 790 V1.2. 1 (2000-07). – 2000. – February.
7. Ergen M. Mobile Broadband. Including WiMax and LTE / M. Ergen. – Springer, 2009. – 513 p.
8. Пат. WO2007059389 A2, H04J11/00. Method and apparatus for interleaving within a communication system / Kaith B., Yufei B., Brian C.; заявл. 14.11.05; опубл. 24.05.07, World Intellectual Property Organization.
9. Пат. WO2008057906 A2, H03M13/27. Turbo interleaving for high data rates / Yongbin W., Jing S., Prasad M.; заявл. 01.11.06; опубл. 15.05.08, World Intellectual Property Organization.
10. Пат. KR20020031721, H03M13/29. Device for decoding turbo code using channel information and method thereof / Geun K., Seop L.; опубл. 03.05.02, World Intellectual Property Organization.
11. Пат. EP1906536 A2, H03M13/29. Tail-biting turbo-code for arbitrary number of information bits / Zong S., Tak L.; заявл. 28.09.06; опубл. 02.04.08, European Patent Application, Bulletin 2008/14.
12. Пат. на полезную модель 43111, МПК H03G 13-37. Устройство повышения помехозащищенности систем с турбокодами при низких значениях отношения сигнал-шум в канале / С. В. Зайцев, С. П. Ливенцев, О. В. Кувшинов; заявл. 05.08.08; опубл. 10.08.09, Бюл. № 15.
13. Woodard J. Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: An Overview / J. Woodard, L. Hanzo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2000. – Vol. 49, No. 6. – P. 2208–2232.
14. Вошинин А. П. Оптимизация в условиях неопределенности / А. П. Вошинин, Г. Р. Сотиров. – М.: Техника, 1989. – 224 с.

УДК 510.004

Д.Б. Мехед, канд. пед. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ**Д.Б. Мехед**, канд. пед. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ**Dmytro Mekhed**, PhD in Pedagogical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

DATA PROTECTION ON THE ENTERPRISE

Розглянуто основні етапи захисту інформації на підприємстві. Визначено основну форму ведення аналітичної роботи. Висвітлено важливість проведення такої роботи на підприємстві в умовах сьогодення.

Ключові слова: захист інформації, аналітична робота, аналітичні звіти.

Рассмотрены основные этапы защиты информации на предприятии. Определена основная форма ведения аналитической работы. Освещены важность проведения данной работы на предприятии в условиях современности.

Ключевые слова: защита информации, аналитическая работа, аналитические отчёты.

The article describes the main stages of information security in the enterprise. Identify the main types of conducting analytical work. Highlighted the importance of this work in the enterprise in terms of modernity.

Key words: information security, analytical work, analytical account.

Постановка проблеми. Нині в Україні у зв'язку з входженням у світовий інформаційний простір швидкими темпами впроваджуються новітні досягнення комп'ютерних і телекомунікаційних технологій. Створюються локальні і регіональні обчислювальні мережі, великі території охоплені мережами стільникового зв'язку, факсимільний зв'язок став доступний для широкого кола користувачів. Системи телекомунікацій активно впроваджуються у фінансові, промислові, торгові і соціальні сфери. У зв'язку з цим різко зріс інтерес широкого кола користувачів до проблем захисту інформації [3]. Аналіз стану захисту інформації – це комплексне вивчення фактів, подій, процесів, явищ, пов'язаних з проблемами захисту інформації, у тому числі даних про стан роботи по виявленню можливих каналів витоку інформації, про причини й обставини, що сприяють витоку і порушень режиму секретності (конфіденційності) у ході повсякденної діяльності підприємства. Аналітична робота – один з основних видів діяльності для забезпечення інформаційної безпеки будь-якого підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню інформаційної безпеки присвячені роботи В.В. Баранника, В.М. Богуна, С.В. Віхорева, І.Д. Горбенко, Ю.І. Грицюк, С.В. Казмирчук, Г.Ф. Конаховича, О.Г. Корченка, М.Г. Луцького, А.І. Марущака, В.П. Мельнікова, В.В. Мохора, О.М. Новікова, О.В. Олійника, О.В. Сосніна, С.В. Толюпи, В.О. Хорошко, О.К. Юдіна та ін.

Дослідження різноманітних аспектів інформаційно-аналітичної діяльності здійснювали Т.В. Абрамова, С.С. Алдишев, В.П. Александрова, А.А. Атаян, С.Ф. Багаундінова, Т.В. Вдовіна, А.В. Горячов, Р.О. Гуревич, М.І. Жалдак, О.П. Значенко, В.Г. Кальченко, Н.В. Кисіль, В.І. Клочко, Н.В. Морзе, С.Ю. Нікіфорова, О.В. Пархоменко, С.А. Раков, М.В. Селіна, Ю.М. Ткач, В.А. Сластьонін та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проте, незважаючи на значний обсяг накопичених у цій сфері знань, недостатньо дослідженою залишилась проблема організації захисту інформації на підприємстві.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є визначення основних етапів організації роботи у сфері захисту інформації на підприємстві.

Виклад основного матеріалу. Захист інформації на підприємстві – це вироблення ефективних заходів, пропозицій і рекомендацій керівництву підприємства, спрямованих на недопущення витоку конфіденційної інформації про діяльність підприємства і

проведені роботи [1]. Основною ефективного захисту інформації є аналітична робота, яка повинна включати елементи прогнозування можливих загроз. Основні напрямки аналітичної роботи на підприємстві такі: аналіз об'єкта захисту; аналіз внутрішніх і зовнішніх загроз інформаційної безпеки підприємства; аналіз можливих каналів несанкціонованого доступу до інформації; аналіз системи комплексної безпеки об'єктів; аналіз порушень режиму конфіденційності інформації; аналіз передумов до розголошення інформації, а також до втрати носіїв конфіденційної інформації. Функції аналізу на підприємстві покладаються на спеціально створений у його структурі аналітичний підрозділ, який комплектується кваліфікованими фахівцями в галузі захисту інформації [1]. Разом з тим такі фахівці повинні повною мірою володіти інформацією за всіма напрямками діяльності підприємства: знати види, характер і послідовність виконання виробничих робіт, взаємодіючі організації, специфіку діяльності структурних підрозділів підприємства і т. ін. Переважно аналітичний підрозділ включається до складу служби безпеки підприємства.

Аналітичний підрозділ повинен забезпечувати керівництво підприємства достовірною та аналітично обробленою інформацією, необхідною для прийняття ефективних управлінських рішень в усіх напрямках захисту інформації. Основними функціями аналітичного підрозділу є: забезпечення своєчасного надходження достовірних і всебічних відомостей з проблем захисту інформації; облік, узагальнення та постійний аналіз матеріалів про стан справ у системі захисту інформації підприємства (його філій та представництв); аналіз можливих загроз захисту інформації, моделювання реального сценарію можливих дій конкурентів (зловмисників), які зачіпають інтереси підприємства; забезпечення ефективності роботи з аналізу наявної інформації, виключення дублювання при її зборі, обробленні та розповсюдженні; моніторинг ситуації на ринку продукції, товарів і послуг, а також у зовнішньому середовищі з метою виявлення подій і фактів, які можуть мати значення для діяльності підприємства; забезпечення безпеки власних інформаційних ресурсів, обмеження доступу співробітників підприємства до аналітичної інформації; підготовка висновків і пропозицій, спрямованих на підвищення ефективності планованих і здійснюваних заходів щодо захисту інформації, а також уточнення (коригування) організаційно-плануючих документів підприємства та його структурних підрозділів; вироблення рекомендацій щодо внесення змін і доповнень у методичні документи, які регламентують алгоритм дій співробітників підприємства щодо захисту інформації (стандарти підприємства) [4].

Наявність постійної аналітичної роботи, її характер і результати визначають необхідність, основи організації, структуру та зміст системи комплексного захисту інформації, вимоги до її ефективності та напрямки її розвитку і вдосконалення [5]. Аналіз стану системи захисту інформації суттєво впливає на кількість, склад і структуру підрозділів підприємства, які безпосередньо вирішують ці завдання (служба безпеки підприємства, служба охорони, режимно-секретний підрозділ та ін.). Від ефективності та якості ведення на підприємстві аналітичної роботи повною мірою залежить стан захищеності інформаційних ресурсів підприємства, віднесених до категорії охоронюваних, а також своєчасність і обґрунтованість прийняття заходів щодо недопущення витоку конфіденційної інформації та втрат носіїв інформації. Ефективність аналітичної роботи та її результати є основою для прийняття керівництвом підприємства управлінських рішень з питань організації захисту інформації. З урахуванням результатів аналітичної роботи можуть проводитися такі основні заходи: уточнення (добробка) планів роботи підприємства щодо захисту інформації, включення до них додаткових заходів; уточнення розподілу завдань і функцій між структурними підрозділами підприємства; перероблення (уточнення) посадових (функціональних) обов'язків співробітників підприємст-

ва, у тому числі керівної ланки, вдосконалення систем пропускнуго і внутрішньо-об'єктового режимів; обмеження кола осіб, які допускаються до конфіденційної інформації з різних напрямків діяльності підприємства; перегляд ступеня конфіденційності відомостей та їх носіїв; посилення системи охорони підприємства та його об'єктів, застосування особливих заходів захисту інформації на окремих об'єктах (у службових приміщеннях); прийняття рішень про обмеження публікації у відкритій пресі, використання в рекламній та видавничій діяльності окремих матеріалів (матеріалів з окремих тем), доступу відряджених осіб, про виключення розгляду цих матеріалів на конференціях, семінарах, зустрічах тощо.

Ведення ефективної аналітичної роботи можливе лише за наявності необхідної інформації. Для її отримання потрібна чітко сформульована мета, що визначає конкретні джерела інформації. Аналітична робота на підприємстві повинна вестися послідовно і безперервно, являти собою повною мірою цілісне дослідження. В аналітичній роботі можна виділити такі основні етапи: формулювання цілей аналітичної роботи, розроблення програми досліджень, формулювання попередніх гіпотез (результатів аналітичної роботи); відбір і аналіз джерел інформації, збір та узагальнення інформації; повноцінний аналіз наявної інформації та підготовка висновків.

Основна форма ведення аналітичної роботи – аналітичні дослідження. Проведення аналітичних досліджень вимагає чіткої організації процесу, оцінювання наявних ресурсів для виконання досліджень і досягнення необхідного результату. Підсумком дослідження повинні бути висновки, пропозиції та рекомендації щодо вдосконалення системи захисту інформації. На першому етапі аналітичного дослідження формулюються цілі та завдання дослідження, розробляється програма дослідження, яка становить наукову основу збору, узагальнення, обробки та аналізу всієї отриманої інформації. Типова програма досліджень включає такі основні розділи: цілі і завдання аналітичного дослідження; предмети й об'єкти дослідження; терміни (період) проведення аналітичного дослідження; методики проведення дослідження; очікувані результати і передбачувані висновки. При формулюванні цілей і завдань дослідження потрібно враховувати, хто є його організатором і безпосереднім виконавцем, які сили і засоби можуть бути задіяні для його проведення, які будуть використовуватися джерела інформації, способи і методи її збору, обробки та аналізу, які існують можливості для реалізації пропозицій і рекомендацій, які будуть вироблені у ході досліджень.

Залежно від поставлених цілей і завдань визначаються конкретні методи і технології дослідження, а також процедури збору й обробки інформації. Найбільш типові такі завдання аналітичного дослідження: отримання даних про стан системи захисту інформації на підприємстві (його конкретних об'єктах, у філіях, представництвах); виявлення можливих каналів витоку інформації, що підлягає захисту; визначення обставин, причин і факторів, що сприяють виникненню каналів витоку і створенню передумов для витоку інформації; підготовка для керівництва підприємства (філії, представництва) та його структурних підрозділів конкретних рекомендацій щодо закриття виявлених каналів витоку. Під об'єктом дослідження розуміється все те, що вивчається та аналізується у ході дослідження. Предмет дослідження – та сторона об'єкта, яка безпосередньо підлягає вивченню у ході аналітичного дослідження. Особливе значення на першому етапі аналітичної роботи має формулювання попередніх гіпотез (версій). Попередні гіпотези повинні пояснити роль і місце висновків аналітичних досліджень у логічній послідовності подій, що відбуваються у сфері захисту охоронюваної інформації.

Побудова попередніх гіпотез проводиться в такому порядку. Спочатку формується повний список відомостей, які передбачається дослідити (проаналізувати). Відомості, що увійшли у список, систематизуються і розташовуються за ступенем важливості. Да-

лі з усього обсягу інформації виділяється група найбільш значущих відомостей, роль яких особливо очевидна в ситуації, що підлягає аналізу та оцінюванню. Обрані відомості класифікуються за актуальністю, способом отримання та ступенем достовірності джерела. Найбільш актуальні відомості аналізуються в першу чергу. Потім проводиться вибір попередніх гіпотез, що пояснюють прояви тих чи інших подій (поява тих чи інших відомостей). Причому відносно однієї події здійснюється перевірка декількох гіпотез (версій). При послідовній перевірці гіпотез особлива увага приділяється найбільш реальним. Ці гіпотези фіксуються. Найменш реальні гіпотези відхиляються. Таким чином, послідовно вибираються і формулюються найбільш імовірні припущення, що пояснюють появу тих чи інших конкретних подій (виникнення відомостей). Можливі суперечності в отриманих висновках про передбачувані версії подій, що відбуваються, усуваються через всебічну послідовну перевірку реальності гіпотез.

Результатом роботи по формулюванню попередніх гіпотез є вибір версії, яка найбільш точно порівняно з іншими версіями пояснює причину виникнення конкретної ситуації, пов'язаної з появою можливого каналу витоку конфіденційної інформації, і характеризує стан системи захисту інформації, у тому числі дії відповідних посадових осіб, якість виконання заходів і т. ін. На другому етапі проводиться відбір і аналіз джерел інформації, збір та узагальнення даних з метою виявлення каналу несанкціонованого доступу до відомостей конфіденційного характеру, виключення можливості виникнення такого каналу. Для цього здійснюється постійний контроль об'єктів захисту (інформаційних ресурсів), а також ступеня захищеності оброблюваної (циркулюючої) в них інформації, проводиться аналіз даних, одержуваних з різних джерел. Для вирішення конкретного завдання аналітичного дослідження в межах другого етапу з усіх наявних у розпорядженні аналітичного підрозділу джерел інформації відбираються ті, з яких надходить інформація, найбільш близька до досліджуваних проблем, і водночас достатньо достовірна.

Аналітичне дослідження джерел інформації передбачає проведення таких основних заходів: формування вичерпного переліку джерел конфіденційної інформації на підприємстві; формування і своєчасне уточнення переліку та складу конфіденційної інформації, реально циркулюючої (оброблюваної) на об'єктах підприємства, з зазначенням конкретних носіїв, на яких вона зберігається; організація та ведення обліку обізнаності співробітників підприємства в конфіденційної інформації, накопичення даних про їх ознайомлення з конкретними відомостями конфіденційного характеру з зазначенням носіїв цих відомостей; вивчення та оцінка відповідності ступеня конфіденційності, присвоєної інформації, реальної цінності цієї інформації; вивчення внутрішніх і зовнішніх загроз кожному наявному на підприємстві джерелу конфіденційної інформації; виявлення підприємств, зацікавлених в отриманні конфіденційної інформації (фірм-конкурентів), а також окремих осіб-зловмисників та їх систематизація (класифікація); аналіз повноти та якості заходів щодо захисту конфіденційної інформації, що приймаються (прийнятих) у конкретних ситуаціях. Облік і аналіз спроб представників фірм-конкурентів, а також інших зловмисників отримати конфіденційну інформацію; облік і аналіз контактів співробітників підприємства з представниками фірм-конкурентів незалежно від того, чи стосувалися вони запитань конфіденційного характеру чи ні.

У ході вивчення і дослідження джерел інформації проводиться їх оцінювання з позиції надійності та достовірності одержуваної з них інформації. Оцінювання джерел інформації здійснюється методом ранжирування (класифікації) самих джерел, з яких надходить інформація. У більшості випадків може використовуватися система експертної оцінки (безпосередньо аналітиком) надійності та достовірності отриманих даних. Рівень підготовки та практичні навички дозволяють співробітнику аналітичного підрозділу найбільш точно оцінити власне інформацію, її джерело і спосіб її отримання.

У процесі оцінювання достовірності інформації та її джерела необхідно враховувати можливість навмисної дезінформації, а також отримання ненавмисно спотвореної інформації. В обох випадках необхідно проведення додаткової перевірки і більш докладного всебічного аналізу отриманої інформації для прийняття рішення про її використання у ході аналітичних досліджень. З урахуванням результатів оцінювання отриманої інформації, а також джерел та способів її отримання здійснюються збір і узагальнення (систематизація) необхідних для проведення повноцінного аналізу відомостей. У ході третього етапу аналітичної роботи проводиться повноцінний аналіз отриманої інформації і, на основі його результатів, – всебічний аналіз стану системи захисту інформації, виробляються ефективні заходи щодо її вдосконалення. На цьому етапі оформляються результати аналітичних досліджень, готуються висновки, рекомендації та пропозиції в галузі захисту інформації, яка охороняється.

Аналіз стану системи захисту інформації включає вивчення можливих каналів витоку інформації, оцінювання ефективності заходів щодо їх закриття, оцінювання дій персоналу підприємства за рішенням завдань у сфері захисту інформації, визначення основних напрямків діяльності щодо захисту інформації.

Зміст і основні види аналітичних звітів. Основною формою представлення результатів аналітичних досліджень є аналітичний звіт. Звіти можуть оформлятися в письмовому вигляді, також вони можуть бути представлені в усній формі, супроводжуватися графіками, діаграмами, малюнками, таблицями, які пояснюють або відбивають результати проведеної роботи. Основні розділи аналітичного звіту наступні: цілі і завдання аналітичного дослідження (цілі та задачі аналітичного дослідження, шляхи вирішення поставлених завдань, питання, що підлягають аналізу та оцінювання; передбачувані результати дослідження); джерела інформації, ступінь достовірності отриманої інформації (оцінки отриманої інформації, джерел і способів її отримання, результати аналізу ступеня достовірності отриманої з використанням цих джерел аналітичної інформації); узагальнення отриманої інформації (алгоритм збору й узагальнення необхідної для проведення повноцінного аналізу інформації – з усього обсягу отриманої та обробленої інформації виділяються найбільш значущі факти); основні й альтернативні версії чи гіпотези (мотивоване розподіл версій, що пояснюють або характеризують досліджувані події і факти, на основну та додаткові або альтернативні); відсутня інформація (додаткова інформація, необхідна для підтвердження основної версії, її джерела та способи її отримання); висновок, висновки (результати аналізу та оцінювання поставлених питань, висновки про ступінь важливості отриманої та обробленої інформації, значення цієї інформації для прийняття конкретних рішень у сфері захисту конфіденційної інформації, взаємозв'язок результатів цього аналітичного дослідження з іншими напрямками аналітичної роботи у сфері захисту інформації, можливі загрози захищаються, а також можливі наслідки впливу негативних факторів); пропозиції та рекомендації щодо вдосконалення роботи в області захисту інформації (конкретні пропозиції та рекомендації керівництву підприємства та керівникам структурних підрозділів щодо вдосконалення роботи в галузі захисту конфіденційної інформації; вироблені на основі проведеного аналізу отриманої інформації, а також різних подій і фактів конкретні заходи, прийняття яких необхідно для закриття можливих каналів витоку інформації та запобігання потенційних загроз захищається). В окремих випадках, на основі результатів проведення більш глибокого аналізу стану системи захисту інформації виробляються алгоритм і способи дій персоналу підприємства в конкретних ситуаціях. Залежно від призначення використовуються такі основні види аналітичних звітів: оперативний (тактичний) звіт; перспективний (стратегічний) звіт; періодичний звіт.

Оперативні (тактичні) звіти відображають результати аналітичних досліджень, проведених для підготовки і прийняття будь-якого оперативного (екстреного) рішення з пи-

тання короткочасного (термінового) характеру. У ході проведення таких досліджень аналізу та оцінці піддається інформація, переважно, невеликого обсягу. Перспективні (стратегічні) звіти містять інформацію, більш повну за змістом. Аналіз цієї інформації не обмежений терміном (часом) його проведення. У такі звіти, здебільшого, включається інформація, що містить більш повний аналіз передумов конкретних ситуацій, фактів, подій. У звітах викладаються прогнози та перспективи розвитку цих ситуацій. Звіти цього виду відповідають постійним напрямками аналітичних досліджень. Періодичні звіти призначені для аналізу стану системи захисту інформації (окремих напрямків захисту інформації) відповідно до розробленого та затвердженого керівництвом підприємства графіком. Ці звітів не залежать від подій (виникнення різних ситуацій), пов'язаних із захистом інформації. Такі звіти готуються з проблем (напрямків), що є об'єктами постійної уваги з боку служби безпеки підприємства (його аналітичного підрозділу).

До складання звітів, незалежно від форми їх подання, пред'являються загальні вимоги, такі як: наявність глибокого аналізу подій (фактів, отриманої інформації), простота, чіткість і грамотність викладу матеріалу, логічність наведених міркувань і висновків, відповідність звітів встановленою формою. Одне з найбільш важливих вимог, що висуваються до звітів, полягає в тому, що їх зміст і рівень підготовки аналітичного матеріалу повинні відповідати запитам конкретних споживачів аналітичної інформації – керівників структурних підрозділів або окремих співробітників підприємства.

Класифікація методів аналізу інформації. Повнота та якість проведення аналітичних досліджень, достовірність отриманих результатів і ефективність вироблених пропозицій та рекомендацій великою мірою залежать від тих методів аналізу інформації, які були вибрані і використовувалися співробітниками аналітичного підрозділу безпосередньо у ході проведення досліджень.

Висновки і пропозиції. Проведення аналітичної роботи в галузі захисту інформації дозволяє оцінити або переоцінити рівень поточного стану інформаційної безпеки підприємства, виробити рекомендації щодо забезпечення (підвищення) інформаційної безпеки підприємства, знизити потенційні втрати підприємства чи організації через підвищення стійкості функціонування корпоративної мережі, розробити концепцію та політику безпеки підприємства, а також запропонувати плани захисту конфіденційної інформації підприємства, що передається по відкритих каналах зв'язку, захисту інформації підприємства від навмисного спотворення (руйнування), несанкціонованого доступу до неї, її копіювання чи використання.

Список використаних джерел

1. Домарев В. В. Защита информации и безопасность компьютерных систем / В. В. Домарев. – К. : Диасофт, 1999. – 480 с.
2. Концепція технічного захисту інформації в галузі зв'язку України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
3. Про державну таємницю [Електронний ресурс] : Закон України від 21.09.1999 р. № 1079-XIV. – Режим доступу : http://dstszi.gov.ua/dstszi/control/uk/publish/article?art_id=88291&cat_id=38828.
4. Тардаскін М. Ф. Технічний захист комерційної таємниці підприємства зв'язку : навч. посіб. / М. Ф. Тардаскін; за ред. М. В. Захарченка, М. Ф. Тардаскін, В. Г. Кононович. – Одеса : ОНАЗ, 2002. – 76 с.
5. Ткач Ю. М. Окремі аспекти інформаційно-аналітичної діяльності у процесі навчання математики фахівців з інформаційної безпеки / Ю. М. Ткач / Дидактика математики: проблеми і дослідження : міжнародний збірник робіт. – Донецьк, 2013. – Вип. 40. – С. 151–158.

УДК 510.004

Ю.М. Ткач, канд. пед. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ПОБУДОВА НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ ДЛЯ ОЦІНКИ
ІНФОРМАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ****Ю.Н. Ткач**, канд. пед. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ****Yuliia Tkach**, PhD in Pedagogical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

**CONSTRUCTION OF FUZZY COGNITIVE MAPS FOR EVALUATION
OF THE INFORMATION RISKS OF A HIGHER EDUCATION INSTITUTION**

Побудовано нечітку когнітивну карту для оцінки інформаційного ризику, запропоновано перелік концептів, встановлено зв'язки між ними та визначена сила їх взаємозв'язку. Для визначення списку концептів та їх взаємозв'язків використано метод експертних оцінок, для встановлення сили зв'язку концептів скористались методами нечіткої логіки.

Ключові слова: інформаційний ризик, нечітка когнітивна карта, інформація.

Построена нечеткая когнитивная карта для оценки информационного риска, предложен перечень концептов, установлены связи между ними и определена сила их взаимосвязи. Для определения списка концептов и их взаимосвязей использован метод экспертных оценок, для установления силы связи концептов воспользовались методами нечеткой логики.

Ключевые слова: информационный риск, нечеткая когнитивная карта, информация.

This article is based fuzzy cognitive map for evaluation information risk is proposed for concepts established between them and the determined strength of their relationship. To define the list of concepts and their relationships used method of peer review, to establish the coupling methods used the concepts of fuzzy logic.

Key words: information risk, fuzzy cognitive map, information.

Постановка проблеми. Однією з найважливіших складових успішного розвитку суспільства є захищеність його інформаційних ресурсів. Інформація у сучасному інформаційному світі стає ключовим елементом усіх сфер життєдіяльності людини. Будь-які процеси у різних галузях науки напряду пов'язані із застосуванням інформаційних технологій, які у свою чергу дають безмежні можливості для розвитку бізнесу, політики, соціальної сфери, освіти тощо. Інформаційні технології дають необхідну інформацію для прийняття рішень у потрібних час. Разом з тим у зв'язку зі зростаючою кількістю та складністю інформації збільшується кількість потенційних загроз інформаційної системи загалом. Тому інформаційна безпека сьогодні надзвичайно актуальна як для приватних, так і для державних установ. Не є винятком і освітні установи, у тому числі вищі навчальні заклади.

Оцінка ризиків являє собою процес систематичного контролю та оцінювання ефективності діяльності установи, вищого навчального закладу зокрема. Крім того, цей процес спрямований на запобігання та згладжування ризиків.

На вищий навчальний заклад здійснюють вплив велика кількість зовнішніх факторів. Зовнішнє середовище є все більш непередбачуваним та нестабільним. Тому класична методологія оцінювання ризику в умовах існування різноманітних альтернатив та неповною інформацією про них не підходить для цих умов.

Когнітивний підхід дозволяє зрозуміти логіку розвитку системи за умови впливу на неї багатьох взаємозалежних факторів.

Таким чином, побудова нечітких когнітивних моделей для оцінки інформаційного ризику у складних системах, зокрема у вищому навчальному закладі, є сьогодні надзвичайно актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження щодо застосування математичних методів до дослідження ризиків, що виникають під час управління складними системами, здійснювали такі науковці, як В.С. Анфілатов, В.В. Борисов, В.Н. Бурков, Г.Л. Бродецький, Е.С. Вентцель, М.А. Гиршика, М.В. Губко, А.М. Дуброва,

Ю.П. Зайченко, П.В. Конюховський, В.Ф. Крапівін, В.І. Максимов, О. Моргенштерн, Дж. Нейман, Д.А. Новикова, С.А. Орловський, С.А. Редкозубов, Н.А. Северцев, В.Г. Суздаль, Д.І. Шапиро, Д.Б. Юдін та ін.

Дослідженню інформаційної безпеки присвячені роботи В.В. Баранника, В.М. Богуна, С.В. Віхорева, І.Д. Горбенко, Г.Ф. Конаховича, О.Г. Корченка, М.Г. Луцького, А.І. Марущака, В.П. Мельнікова, В.В. Мохора, О.М. Новікова, О.В. Олійника, О.В. Сосніна, С.В. Толюпи, В.О. Хорошко, О.К. Юдіна та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проте, незважаючи на значний обсяг накопичених у цій сфері знань, недостатньо дослідженою залишилась проблема захисту інформаційних активів у вищому навчальному закладі.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є запропонувати підхід для оцінки ризиків інформаційних активів вищого навчального закладу.

Виклад основного матеріалу. Ризик як ймовірність настання несприятливої ситуації є невід’ємною складовою діяльності будь-якої установи. У зв’язку з цим у сучасній літературі достатньо детально викладено різні підходи до дослідження та управління ризиками [2].

Термін «інформаційних ризик» сьогодні набув широко розповсюдження. Проте різні науковці трактують його по-різному.

Ми підтримуємо В.І. Завгороднього у тому, що інформаційний ризик – це можливість настання випадкової події в інформаційній системі підприємства, що призводить до порушення її функціонування, зниження якості інформації нижче за допустимий рівень, у результаті чого підприємство зазнає збитків [4]. Але вважаємо, що подія може бути і не випадкова. Тобто для вищого навчального закладу інформаційний ризик – це невизначеність, що може виникнути у результаті діяльності ВНЗ, яка проявляється у неповноті, неточності, відсутності інформації та призводить до негативних наслідків.

Отже, оцінка інформаційного ризику вищого навчального закладу – ідентифікація інформаційних активів, виявлення загроз та їх впливу на складові системи.

Одним із найважливіших завдань оцінювання ризиків загалом є виявлення загроз, оцінювання ефективності дій, попередження або мінімізація наслідків ризиків.

Для виконання поставлених завдань можна використати когнітивне моделювання.

Когнітивне моделювання – це один із наукових методів когнітології. Когнітологія (когнітивна наука) (лат. *cognitio* – пізнання, гр. *logos* – вчення) – міждисциплінарний науковий напрямок, який об’єднує теорію пізнання, когнітивну психологію, нейрофізіологію, когнітивну лінгвістику й теорію штучного інтелекту [6]. Когнітивне моделювання, у свою чергу, розглядається багатьма авторами як формалізація знань, прийняття рішень на основі образних знань, управління на рівні інтуїтивних знань [5].

Побудуємо модель оцінки ризику діяльності вищого навчального закладу за допомогою нечіткої когнітивної моделі.

Основою побудованої моделі є когнітивна карта. Когнітивна карта – це знаковий орієнтований граф, у вершинах якого розміщені ключові фактори об’єкта моделювання (концепти), що пов’язані між собою дугами, тобто причинно-наслідковими зв’язками між ними. Ці зв’язки характеризуються ступенем впливу концептів один на одного. При цьому стан кожного концепту описується однією або декількома змінними станами.

У загальному випадку нечітка когнітивна карта являє собою множину:

$$HKK = \{C, F, W\},$$

де C – множина концептів, F – множина зв’язків між концептами, W – множина сили зв’язків.

Таким чином, когнітивна карта є різновидом математичного моделювання, що використовується для формалізації складної системи (у нашому випадку вищого навчаль-

ного закладу) у вигляді множини концептів, які відображають системні фактори (змінні) та причинно-наслідкові зв'язки між ними з урахуванням характеру їх взаємодії.

Ефективність використання нечітких когнітивних карт як моделей слабоструктурованих систем обумовлена:

- можливістю наочного представлення системи або проблеми, що аналізується;
- відсутністю необхідності попередньої специфікації концептів та їх взаємозв'язків;
- конструктивністю, наочністю та відносною легкістю інтерпретації з їх допомогою причинно-наслідкових зв'язків (відношень) між концептами [1].

Для побудови нечіткої когнітивної карти, яка визначає стан інформаційної безпеки вищого навчального закладу, необхідно проаналізувати інформаційні активи, які потребують захисту, з'ясувати основні загрози цим активам, виявити вразливості діючої системи захисту, сформулювати можливі втрати від реалізації загроз інформаційній безпеці, визначити основні способи та засоби управління ризиками.

Процес побудови нечітких когнітивних карт для оцінки ризику діяльності вищого навчального закладу можна представити у вигляді послідовності таких етапів:

- визначення мети;
- визначення списку концептів (факторів), що характеризують інформаційну безпеку вищого навчального закладу (системне дослідження вищого навчального закладу на предмет виявлення інформаційних активів, загроз, вразливості, видів можливих збитків);
- встановлення взаємозв'язків між кожною парою концептів (факторів) вищого навчального закладу (також визначається сила впливу);
- побудова нечіткої когнітивної карти (побудова графової моделі).

Розглянемо кожен етап побудови когнітивної карти окремо.

Метою побудови когнітивної карти є оцінювання інформаційних ризиків вищого навчального закладу.

Безпосередній список концептів та їх взаємозв'язків визначались через узагальнення оцінок експертів кожного із запропонованих концептів та, як наслідок, відкидання несуттєвих.

До переліку концептів ВНЗ ми включили такі:

- інформаційні активи $VN3\{C_m^S\}$;
- загрози інформаційній безпеці $VN3\{C_n^L\}$;
- базисні фактори $\{C_k^U\}$;
- цільові активи $\{C_l^G\}$.

Інформаційні активи потребують захисту, оскільки їх втрата загрожує нанести значної шкоди. Ними можуть бути різноманітні бази даних $\{C_1^S\}$, документи $\{C_2^S\}$, програмне забезпечення $\{C_3^S\}$, апаратні ресурси $\{C_4^S\}$.

Основні загрози інформаційній безпеці – це крадіжка $\{C_1^L\}$, фальшування $\{C_2^L\}$, розголошення конфіденційної або комерційної інформації $\{C_3^L\}$, занесення вірусів $\{C_4^L\}$, апаратні та програмні збої $\{C_5^S\}$, корупція $\{C_6^S\}$.

Базисні фактори впливають на діяльність установи, тобто у ВНЗ, цими факторами може бути емоційно-психологічний стан колективу $\{C_1^U\}$, порушення графіка навчального процесу $\{C_2^U\}$, рівень успішності студентів $\{C_3^U\}$.

Цільові фактори визначають стан процесів, що відбуваються у ВНЗ, ці фактори є важливими для його успішного функціонування, вони також здійснюють стабілізуючий вплив на заклад та позитивний вплив на рівень інформаційної безпеки. А саме, репутація $\{C_1^G\}$, якість освіти $\{C_2^G\}$, матеріально-технічне забезпечення $\{C_3^G\}$, запитуваність випускників $\{C_4^G\}$, кваліфікація професорсько-викладацького складу $\{C_5^G\}$.

Під час побудови нечіткої когнітивної карти та оцінюванні ризиків ми використовували метод експертних оцінок. Експертів залучали до визначення списку концептів, встановлення причинно-наслідкових зв'язків та їх сили, а також до визначення переліку змінних, що входять до складу концепту. Експерти, що брали участь у нашому експерименті, мали різні рівні навченості з математики та обізнаності в інформаційній безпеці, але всі добре орієнтувались у проблемах вищої школи. Тому ми обчислювали умовну оцінку значущості кожного експерта [7]:

$$E_i = 0,4E_{сам} + 0,6 \frac{\sum_{j=1}^m E_{взаєм}}{m-1},$$

де E_i – оцінка значущості i -го експерта, $E_{сам}$ – самооцінка експерта, $E_{взаєм}$ – взаємооцінювання i -го експерта j -м експертом, m – загальна кількість експертів.

З метою визначення сили зв'язку ми скористались методами нечіткої логіки. Такі методи ґрунтуються на нечітких множинах і використовують лінгвістичні величини і висловлювання для опису стратегій прийняття рішень [3].

Для встановлення сили зв'язку між концептами ми запропонували експертам нечіткі відношення у вигляді лінгвістичних термінів: «сильний» вплив, «середній» вплив та «слабкий» вплив.

У результаті першого етапу формалізації отримаємо знакову когнітивну карту, а на другому етапі, після визначення сили взаємозв'язку між концептами, отримуємо нечітку когнітивну карту.

Таким чином, ми побудували нечітку когнітивну карту з оцінки ризику діяльності вищого навчального закладу (рис.).

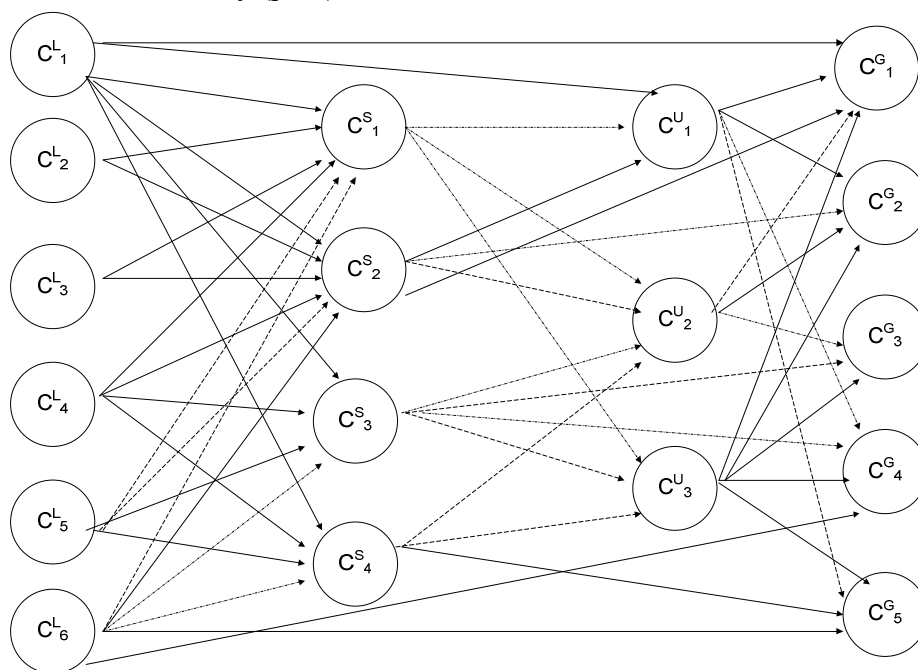


Рис. Нечітка когнітивна карта для оцінки інформаційного ризику вищого навчального закладу

Когнітивна карта, яка представлена на рис., являє собою граф, з множини концептів (вершини) та їх взаємозв'язків (дуги). Кожна дуга має свою силу зв'язку та відображає думку експертів про вплив концептів один на одного. На рис. «сильний» зв'язок позначено суцільною лінією, «середній» – штриховою, «слабкий» – штриховою з крапочками.

Для того, щоб визначити вплив деякої загрози, наприклад, $\{C_2^L\}$ – фальсифікації на $\{C_2^G\}$ – якість освіти, треба визначити всі непрямі зв'язки між цими концептами. Таким чином,

$$\min(C_2^L \xrightarrow{\text{сильний}} C_1^S \xrightarrow{\text{слабкий}} C_1^U \xrightarrow{\text{сильний}} C_2^G) = \text{"слабкий"};$$

$$\min(C_2^L \xrightarrow{\text{сильний}} C_2^S \xrightarrow{\text{середній}} C_2^U \xrightarrow{\text{сильний}} C_2^G) = \text{"середній"};$$

$$\min(C_2^L \xrightarrow{\text{сильний}} C_2^S \xrightarrow{\text{сильний}} C_2^G) = \text{"сильний"}.$$

Отже, повний ефект від впливу фактора C_2^L на C_2^G буде таким:

$$\max(\text{слабкий}, \text{середній}, \text{сильний}) = \text{"сильний"}.$$

Аналогічно визначаємо силу впливу кожного концепту на інший. У результаті отримаємо матрицю сили впливів.

Таким чином, після побудови когнітивної карти та її аналізу ми визначили найбільш вразливі концепти, тобто ті, для яких ризик настання негативних наслідків найбільший.

Зауважимо, що для аналізу можуть бути використані програмні засоби, такі як: Excel, Mat Lab, Database Toolbox тощо.

На основі отриманих даних, у подальшому, треба генерувати рекомендації щодо покращення процесу діяльності вищого навчального закладу.

Висновки і пропозиції. Отже, нечіткі когнітивні карти дозволяють у наочній формі представити загрози та оцінити ступінь їх вплив на різні сфери діяльності ВНЗ, зокрема інформаційні активи. Крім того, вона дозволяє виявити найбільш вразливі місця у діяльності ВНЗ. Таким чином, використовуючи нечіткі когнітивні карти, керівництво вищого навчального закладу отримує можливість мінімізувати втрати інформації через здійснення своєчасних контрзаходів. Цьому питанню має бути присвячене окреме наукове дослідження.

Список використаних джерел

1. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федуров. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
2. Вишняков Я. Д. Общая теория рисков / Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. – М. : Академия, 2007. – 363 с.
3. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения : монография / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова, П. В. Сараев, И. В. Черпаков. – Липецк : ЛЭГИ, 2002. – 113 с.
4. Парадигма информационных рисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.fa-kit.ru.
5. Раевнева Е. В. Когнитивное моделирование для решения задач управления слаботруктурированными системами (ситуациями) / Е. В. Раевнева, Н. М. Берест // Бизнесинформ. – 2010. – № 5(2). – С. 40–43.
6. Справочно-информационный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.dic.academic.ru>.
7. Теоретические экспертного ранжирования и его применение в медицине и фармации : учебно-методическое пособие / Р. В. Насыров, Г. Я. Ибрагимова, Н. Х. Хафизов, Ю. В. Бойко. – Уфа : Здравоохранение Башкорстана, 2003. – 148 с.

УДК 621.391

В.Д. Назарук, здобувач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОЧАСТОТНИХ КОДОВИХ КОНСТРУКЦІЙ
БЕЗ ЗБІГУ ЧАСТОТНО-ЧАСОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ
ФІЗИЧНОГО РІВНЯ СИСТЕМ БЕЗДРОТОВОГО ДОСТУПУ****В.Д. Назарук**, соискатель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЧАСТОТНЫХ КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЕЗ
СОВПАДЕНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА****Vitalii Nazaruk**, candidate

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

**USAGE OF MULTIFREQUENCY CODE DESIGNS WITHOUT COINCIDENCE
OF TIME-FREQUENCY ELEMENTS FOR BUILDING OF A PHYSICAL LEVEL
OF WIRELESS SYSTEMS**

Розглянуто технологію побудови передавальної і приймальної частин систем бездротового доступу, фізичний рівень яких сформований на основі застосування багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів. Визначено аналітичні вирази, які дозволяють описати процеси формування й обробки таких конструкцій, що робить можливим реалізацію таких пристроїв програмним або апаратно-програмним методами на практиці. Використання розробленої технології дозволить підвищити достовірність передачі інформації та зменшити складність реалізації обладнання.

Ключові слова: бездротовий доступ, багаточастотні кодові конструкції, частотно-часові елементи.

Рассмотрена технология построения передающей и приемной частей систем беспроводного доступа, физического уровня которых сформирован на основе применения многочастотных кодовых конструкций без совпадения частотно-временных элементов. Определены аналитические выражения, позволяющие описать процессы формирования и обработки таких конструкций, что делает возможным реализацию таких устройств программным или аппаратно-программным методами на практике. Использование разработанной технологии позволит повысить достоверность передачи информации и уменьшит сложность реализации оборудования.

Ключевые слова: беспроводный доступ, многочастотные кодовые конструкции, частотно-временные элементы.

In this paper the technology of transmitting and receiving parts of wireless access, physical layer are formed on the basis of multifrequency code constructions without a time-frequency matching items. Determined analytical expressions to describe the processes of formation and processing of such structures makes it possible to implement such devices software or hardware and software methods in practice. Using the developed technology will improve the reliability of information transfer and decrease the complexity of the implementation hardware.

Key words: wireless, multifrequency code design, time-frequency components.

Вступ. Сучасний етап розвитку систем бездротового доступу вимагає підвищення інформаційної ефективності фізичного рівня для забезпечення задоволення користувачів в інформаційних послугах. Одним із найперспективніших на сьогодні напрямів у розвитку систем бездротового доступу є використання на фізичному рівні сигналів із швидкою зміною несучої частоти. До таких належать сигнали, у яких символ дискретного повідомлення передається послідовністю радіоімпульсів різних несучих частот $f_1, f_2, \dots, f_M$, де f – кількість частот у частотно-часовій послідовності. Під символом дискретного повідомлення розуміють групу біт, або у простому випадку один біт. На інтервалі тривалості одного символу T несуча частота сигналу змінюється M -разів, або піддається частотній маніпуляції з декількома значеннями частот. Кожному окремому символу відповідає своя частотно-часова послідовність, яка відрізняється від інших. Для забезпечення найкращих кореляційних властивостей код зміни частот у частотно-часових послідовностях визначається певним чином. У відведеній для системи бездротового доступу смузі частот паралельно працює M інформаційних каналів. При цьому ознакою, що відрізняє кожен інформаційний канал, є код послідовності зміни несучих частот.

Для забезпечення процесу передавання повідомлень у системах бездротового доступу кожна пара приймач і передавач повинні використовувати однакові закони зміни частот [1]. Застосування законів зміни частоти за псевдовипадковим законом значно ускладнює визначення цього закону, до того ж підвищується розвідзахищеність і ускладнюється можливість перехоплення інформації. Це є наслідком того, що для здійснення відновлення переданого повідомлення на фізичному рівні необхідно виконати демодуляцію перехопленого радіосигналу. А це є досить складною задачею, якщо псевдовипадкові частотно-часові коди невідомі. Код формування частотно-часових послідовностей, що визначає послідовність слідування несучих частот сигналу, повинен бути псевдовипадковим. Однак модель формування цих послідовностей має бути досить простою для того, щоб забезпечити нормальне функціонування формувачів сигналів. При цьому необхідно забезпечити можливість досить швидкої зміни коду формування частот і у процесі передавання інформації.

Постановка задачі. З робіт [2; 3] відомо, що якщо кількість частотно-часових елементів $M + 1$ взяти рівній простому числу, то можливо побудувати ансамбль ортогональних багаточастотних сигналів без збігу частотно-часових елементів з M -реалізацій. При цьому при довільному зсуві таких частотно-часових послідовностей збігається не більше одного частотно-часового елементу. Процес формування кодів зміни частот у частотно-часових послідовностях є досить простим й описується такою моделлю формування матриці кодів зміни частот [2]:

$$K(i, k) = (i \cdot k) \bmod (M + 1), \quad (1)$$

де i – номер рядка, а k – номер стовпця.

Такі ортогональні багаточастотні сигнали мають хороші спектрально-кореляційні властивості, що значно спрощує структуру радіотракту та зменшує проблеми часової і частотної синхронізації.

Таким чином, постає завдання розроблення технологія побудови передавальної й приймальної частин систем бездротового доступу, фізичний рівень яких сформований на основі застосування багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів. Зазначена технологія має забезпечити змогу практичного використання багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів для побудови фізичного рівня систем бездротового доступу.

Виклад основного матеріалу статті. Система бездротового доступу, фізичний рівень якої побудований на основі застосування багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів, складається з передавальної та приймальної частин. Спрощена структурна схема передавальної частини такої системи наведена на рис. 1.

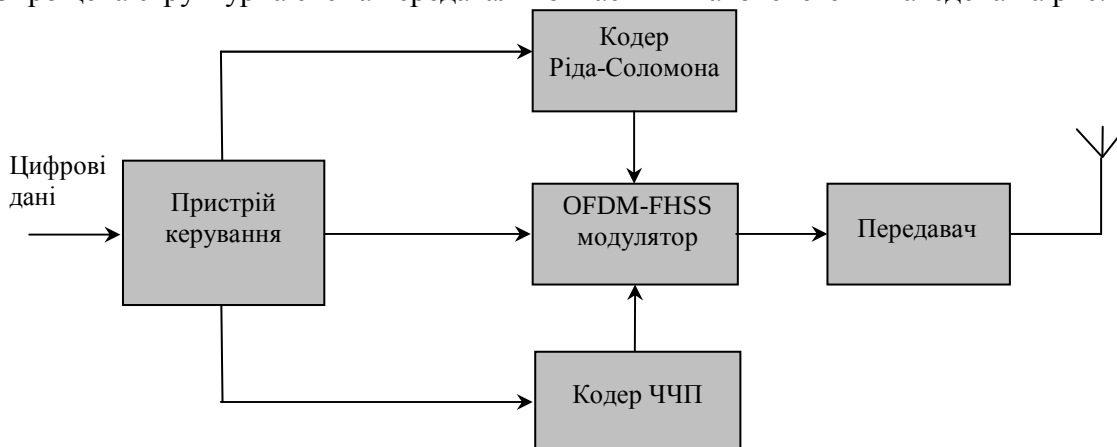


Рис. 1. Спрощена структурна схема передавальної частини системи бездротового доступу

Як видно з рис. 1, передавальна частина має у своєму складі такі елементи: пристрій керування, кодер Ріда-Соломона, кодер ЧЧП, модулятор OFDM-FHSS, передавач. Цифрові дані, які передаються через фізичний рівень, надходять на вхід пристрою керування, який здійснює оцінку швидкості вхідного потоку і залежно від стану каналу формує команди кодеру ЧЧП, кодеру Ріда-Соломона та модулятору OFDM-FHSS на встановлення відповідних параметрів багаточастотних кодових конструкцій. Параметри багаточастотних кодових конструкцій вибираються через визначення раціональних значень параметрів за допомогою вибору за критерієм максимуму коефіцієнта використання потужності сигналу. Також пристрій керування здійснює формування тестової послідовності, за якою на прийомній стороні оцінюється стан каналу. Інформація про стан каналу на пристрій керування надходить з протилежної сторони по каналу зворотного зв'язку. Кодер ЧЧП за командою, що надходить з пристрою керування відповідно до заданих параметрів, визначає код частот для модулятора OFDM-FHSS. Модель вибору частот у кодері ЧЧП розроблена і детально описана в роботі [2]. У кодері Ріда-Соломона цифрові дані кодуються кодом Ріда-Соломона відповідно до заданих параметрів коду. В модуляторі OFDM-FHSS здійснюється формування ортогонального багаточастотного сигналу без збігу частотно-часових елементів із заданим видом внутрішньої маніпуляції кожного частотно-часового елементу. Остаточне формування сигналів фізичного рівня здійснюється в передавачі.

Спрощена структурна схема приймальної частини системи бездротового доступу, фізичний рівень якої побудований на основі застосування багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів, наведена на рис. 2. Вона складається з таких частин: приймач, декодер Ріда-Соломона, кодер ЧЧП, демодулятор OFDM-FHSS, пристрій оцінки каналу.

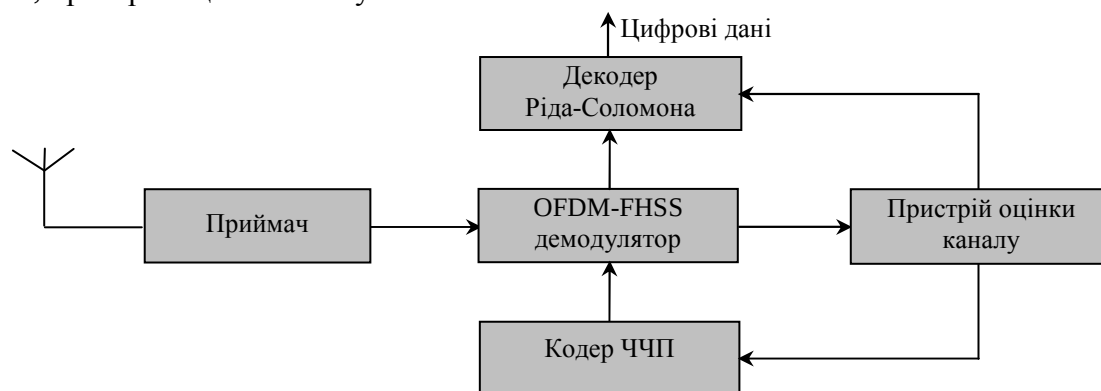


Рис. 2. Спрощена структурна схема приймальної частини системи бездротового доступу

Радіосигнал фізичного рівня приймається антеною і поступає на вхід приймача, який здійснює його обробку та перетворює до вигляду, узгодженого з входом модулятора. З виходу приймача сигнал поступає на вхід демодулятора OFDM-FHSS, в якому здійснюється відновлення цифрових даних, які декодуються декодером Ріда-Соломона до звичайного вигляду. Пристрій оцінки каналу по переданій тестовій послідовності здійснює її порівняння з метою оцінювання стану каналу зв'язку та визначення його частотної характеристики. За результатами оцінювання частотної характеристики каналу здійснюється визначення значень відношень сигнал/завада. Результати цього оцінювання по зворотному каналу надходять на пристрій керування передавальною частиною. Також пристрій оцінки з тестової послідовності визначає параметри коду частотно-часових послідовностей і параметри коду Ріда-Соломона й надає керуючі команди кодеру ЧЧП та декодеру Ріда-Соломона на встановлення відповідних параметрів.

Структурна схема модулятора та демодулятора OFDM-FHSS показана на рис. 3.

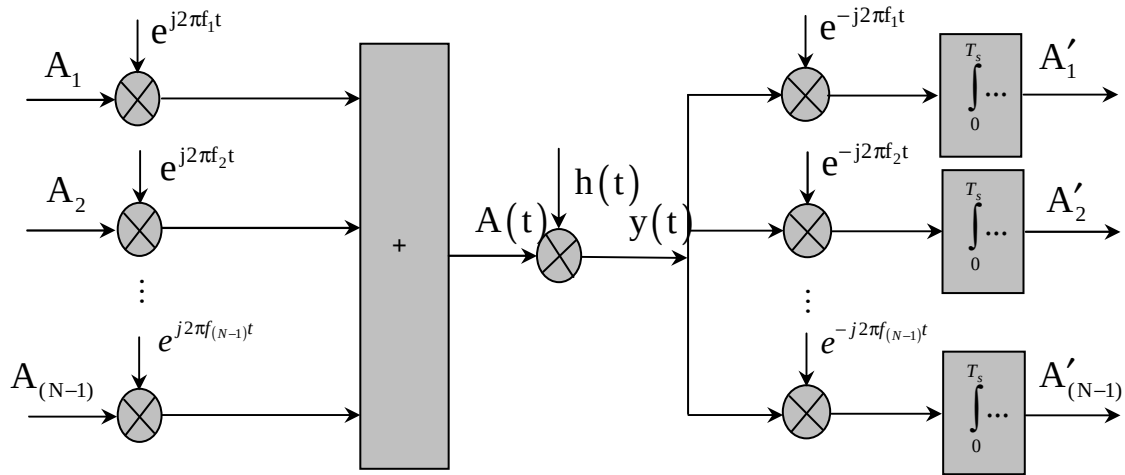


Рис. 3. Структурна схема модулятора та демодулятора OFDM-FHSS

Функції OFDM-FHSS модулятора зводяться до формування складового неперервного сигналу, що містить N піднесучих, які модулюються інформаційними символами з заданим маніпуляційним кодом на інтервалі $T_{\text{OFDM-FHSS}}$:

$$A(t) = \sum_{k=1}^{N-1} A_k e^{j2\pi k \Delta f_{\text{OFDM-FHSS}} t}, \quad (2)$$

де N – кількість піднесучих, A_k – комплексний модулюючий символ (MPSK або MQAM), який передається на k -й піднесучій $e^{j2\pi k \Delta f_{\text{OFDM-FHSS}} t}$, $\Delta f_{\text{OFDM-FHSS}} = 1/T_{\text{OFDM-FHSS}}$ – частота слідування символів, $T_{\text{OFDM-FHSS}}$ – тривалість символу.

Реалізація функцій OFDM-модулятора на базі цифрового процесора швидкого перетворення Фур'є передбачає перехід від безперервного часу до дискретного ($t = nT_d$), при цьому вираз (2) набуде вигляду:

$$A(nT_d) = \sum_{k=1}^{N-1} A_k e^{j2\pi k \frac{n}{N}}, \quad n = \overline{1, N-1}. \quad (3)$$

Можна представити $A(nT_d)$ як залежність від n , $A(n)$, і тоді (3) представимо як:

$$A(n) = W^{-1} A_k, \quad k, n = \overline{0, N-1}, \quad (4)$$

де W – це матриця розміру $(N-1) \times (N-1)$ дискретного перетворення Фур'є з елементами:

$$[W]_{k,n} = e^{-j2\pi k n / N}, \quad k, n = \overline{1, (N-1)},$$

$$W = \begin{bmatrix} e^{-j2\pi/N} & e^{-j4\pi/N} & \dots & e^{-j2\pi(N-1)/N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e^{-j2\pi(N-2)/N} & e^{-j4\pi(N-2)/N} & \dots & e^{-j2\pi(N-1)(N-2)/N} \\ e^{-j2\pi(N-1)/N} & e^{-j4\pi(N-1)/N} & \dots & e^{-j2\pi(N-1)(N-1)/N} \end{bmatrix}.$$

На приймальній стороні відбуваються такі перетворення:

$$A'(n) = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_s} [A(t) + n(t)] e^{-j2\pi n \Delta f_{\text{OFDM-FHSS}} t} dt, \quad n = \overline{1, N-1}. \quad (5)$$

Елементи матриці кодів частот $K(i, k)$, де i – номер строки, а k – номер стовпця, визначаються виразом (1). При цьому процес знаходження значень частот багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів описується таким виразом:

$$f(i, k) = f_1 + [K(i, k) - 1]\Delta f_p, \quad (6)$$

де f_1 – найменше значення несучої частоти сигналу, а Δf_p – розносу між найближчими значеннями несучих частот.

Очевидно, що у ході аналізу багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів доцільно у його часовому представленні використовувати не f_1 , а значення центральної частоти f_0 . Величину $\Delta f_d = \Delta f_p / 2$ – назовемо девіацією частоти, в такому випадку довільне значення частоти багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів доцільно можливо записати:

$$f(i, k) = f_0 + C(i, k)\Delta f_d, \quad (7)$$

де $C(i, k)$ – деякий багатопозиційний первинний сигнал, який однозначно визначається матрицею кодів частот $K(i, k)$. При цьому матриці кодів частот буде відповідати матриця первинного, багатопозиційного сигналу. Для довільного співвідношення між $K(i, k)$ і $C(i, k)$ визначається вираз:

$$C(i, k) = 2K(i, k) - M - 1. \quad (8)$$

З урахуванням викладеного, i -та реалізація багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів може бути представлена у вигляді:

$$A_i(t) = \sum_{k=1}^M a(i, k) \sin[2\pi(f_0 + C(i, k)\Delta f_d)t + \varphi(i, k)], \quad (9)$$

де $(k-1)\tau_0 \leq t \leq k\tau_0$, $i = 1, 2, \dots, M$;

$a(i, k)$, $\varphi(i, k)$ – миттєва амплітуда і миттєва фаза сигналу відповідно.

Якщо (9) представити в експоненціальній формі, то отримаємо:

$$A_i(t) = \sum_{k=1}^M a(i, k) e^{-j2\pi(f_0 + C(i, k)\Delta f_d)t + \varphi(i, k)}. \quad (10)$$

Враховуючи (3), (4) та (10), при переході від безперервного часу до дискретного ($t = nT_d$, $f_0 = \frac{N(M+1)}{2T_d}$, $\Delta f_d = \frac{N}{2T_d}$), на виході цифрового процесора швидкого перетворення Фур'є одна послідовність багаточастотної кодової конструкції без збігу частотно-часових елементів буде описуватися виразом:

$$A_i(n) = \sum_{k=1}^{N-1} a(i, k) e^{j2\pi(\frac{N(M+1)}{2T_d} + C(i, k)\frac{N}{2T_d})nT_d + \varphi(i, k)} = \sum_{k=1}^{N-1} a(i, k) e^{j\pi n((M+1) + C(i, k)) + \varphi(i, k)}, \quad (11)$$

де $n = \overline{1, N-1}$, $i = \overline{1, M}$.

З (11) можемо знайти, що на виході OFDM-FHSS модулятора груповий сигнал у вигляді базису багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів буде визначатися таким чином:

$$A(n) = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{N-1} a(i, k) e^{j\pi n((M+1) + C(i, k)) + \varphi(i, k)}, \quad (12)$$

де $n = \overline{1, N-1}$.

Вираз (12) описує структуру радіоінтерфейсу фізичного рівня систем бездротового доступу, що використовують технологію OFDM з розподілом частот для передачі інформаційних потоків так, що при формуванні сигналів усувається можливість збігу частотно-часових елементів інформаційних послідовностей. На прийомній стороні під час

оброблення таких сигналів, відбуваються процеси зворотного перетворення. Детермінованість частотно-часових послідовностей, що сформовані за допомогою розробленого способу, дозволяє використовувати під час прийому таких сигналів кореляційні методи обробки і тим самим робить можливим усунення захисного інтервалу між символами повідомлення.

Висновки. Розроблена технологія побудови передавальної й приймальної частини систем бездротового доступу, фізичний рівень яких сформований на основі застосування багаточастотних кодових конструкцій без збігу частотно-часових елементів, дозволяє за рахунок використання на фізичному рівні частотно-часового кодування збільшити швидкість передачі інформації при заданій достовірності, тим самим підвищити інформаційну ефективність систем бездротового доступу.

Виведені нові аналітичні вирази дозволяють без значних складностей на практиці програмним або апаратно-програмним методами реалізувати розроблену технологію.

Оцінювання, проведене в роботі [3], підтверджує доцільність впровадження розробленої технології в системах бездротового доступу, які на фізичному рівні використовують складні багаточастотні сигнальні конструкції.

Список використаних джерел

1. Яриловець А. В. Аналіз стану та перспективи розвитку телекомунікаційних мереж / А. В. Яриловець, С. В. Зайцев, В. Д. Назарук // Вісник Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2012. – № 2 (57). – С. 155–165.
2. Яриловець А. В. Алгоритм побудови оптимальних частотно-часових сигнальних конструкцій / А. В. Яриловець, В. Д. Назарук, С. В. Зайцев // Математичні машини і системи. – 2012. – № 4. – С. 94–102.
3. Яриловець А. В. Оцінка ефективності інформаційної технології для систем безпроводового доступу, побудованої на основі оптимальних ортогональних багаточастотних сигнальних конструкцій / А. В. Яриловець, В. Д. Назарук, С. В. Зайцев // Математичні машини і системи. – 2014. – № 2. – С. 51–58.

УДК 650.1

А.А. Задорожний, асистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В МОДЕЛЯХ ПРИ ИНДУКТИВНОМ И ДЕДУКТИВНОМ ПОДХОДАХ К ИХ СОЗДАНИЮ

А.О. Задорожний, асистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КЛАСИФІКАЦІЯ І МЕТОДИ УСУНЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ У МОДЕЛЯХ ПРИ ІНДУКТИВНОМУ І ДЕДУКТИВНОМУ ПІДХОДАХ ДО ЇХ СТВОРЕННЯ

Artem Zadorozhniy, assistant

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

CLASSIFICATION AND METHODS FOR RESOLUTIONS OF INDETERMINACIES IN THE MODELS CREATED WITH INDUCTIVE AND DEDUCTIVE APPROACHES

Проведен анализ неопределенностей, которые могут возникать при создании моделей процессов и систем. Рассмотрены существующие классификации неопределенностей и предложена расширенная классификация, которая включает не только неопределенности, связанные данными и внутренними состояниями модели, но и неопределенности, связанные с жизненным циклом построения модели.

Ключевые слова: неопределенность, индуктивный подход, дедуктивный подход, жизненный цикл модели.

Проведено аналіз невизначеностей, що можуть виникати при створенні моделей процесів і систем. Розглянуто наявні класифікації невизначеностей та запропоновано розширену класифікацію, що включає не тільки невизначено-

сті, пов'язані з даними та внутрішніми станами моделі, але й невизначеності, пов'язані з життєвим циклом побудови моделі.

Ключові слова: невизначеність, індуктивний підхід, дедуктивний підхід, життєвий цикл моделі.

The analysis of the indeterminacies that may occur during creating moles of processes and systems has been made. The existing classifications of indeterminacies have been researched and expanded classification, which includes not only the indeterminacies associated with data and internal states of the model, but also the indeterminacies associated with the life cycle of model creation, has been proposed.

Key words: indeterminacy, inductive approach, deductive approach, model life cycle.

Постановка проблеми. Во время создания моделей систем и процессов могут возникать различного рода неопределенности, которые необходимо устранять. Существующие классификации неопределенности, связанные с входными данными модели и ее внутренними состояниями, в то время как неопределенности, связанные с жизненным циклом создания модели, также являются важным элементом в классификации неопределенностей. Также в данной работе рассматриваются способы устранения неопределенности внутренних состояний моделей для индуктивного и дедуктивного подхода к созданию имитационных моделей.

Анализ последних исследований и публикаций. Изучение проблем неопределенностей в имитационном моделировании приобрело широкое распространение в современной науке. Разрабатываются классификации неопределенностей [1], а также предлагаются способы их решения. Наиболее хорошо изучены и обеспечены методами решения неопределенности, связанные с входными данными и внутренними состояниями модели.

Выделение не решенных раньше частей общей проблемы. Нерешенной частью проблемы классификации неопределенностей является отсутствие в существующих классификациях неопределенностей, связанных с жизненным циклом создания моделей. Также одной из проблем в предметной области неопределенностей является отсутствие метода, позволяющего исследовать внутренние состояния индуктивных моделей.

Цель работы. Главная цель данной работы – расширение классификации неопределенностей включением неопределенностей, связанных с жизненным циклом модели, в существующую классификацию, а также рассмотрение методов для устранения неопределенностей внутренних состояний моделей при индуктивном и дедуктивном подходе к созданию моделей.

Понятие и классификация неопределенностей. Неопределенность – это отсутствие или недостаток определения или информации о чем-либо. Неопределенность может проявляться в разных областях, таких как неопределенность измерений в метрологии, принцип неопределенности Гейзенберга в квантовой физике, раскрытие неопределенности в математическом анализе, неопределенность в управлении рисками.

В аспекте проблемы неопределенности принято различать ряд терминологических групп понятий, характеризующих категорию «неопределенность» с разных точек зрения. При этом каждое понятие о неопределенности является связанным с другими и не противоречит содержательному наполнению положений, а только дополняет и расширяет сложившиеся представления.

Неопределенность можно рассматривать как меру информации [1]. Это является первым и самым распространенным положением о неопределенности. Достаточность информации об условиях, ограничениях и параметрах сложных систем и процессов свидетельствует об определенности ситуации. В таком контексте восприятия категории подразумевается, что совокупная информация о конкретном объекте, событии или явлении априори составляет константу полных истинных сведений и данных.

Вторым положением о неопределенности является то, что она отражает состояние системы по отношению к идеальным условиям, когда знание полностью детерминировано. Положение о разрыве между фактическим уровнем «информированности» и си-

туацией, когда сведения и данные о сложной системе или процессе полностью известны очень близко к первому положению о неопределенности и, по сути, является его следствием. Основываясь на первых положениях о неопределенности, объем информации может быть исчислен и выражен через неопределенность – энтропию. Таким образом, различие между физическим содержанием информационных потоков и идеальным объемом истинных сведений и данных характеризует второе положение о неопределенности.

Третьим положением неопределенности является то, что она воспринимается как возможность выбора альтернатив и множественность данного выбора (вариантов выбора). Во многих научных публикациях делается акцент на то, что определенность порождает множественность выбора различных альтернатив. С одной стороны, множественность вызвана разнообразием вариантов, с другой стороны, в условиях неопределенности установить четкие критерии оптимальности и эффективности достаточно сложно.

В четвертом положении неопределенность определяет качество информации (достоверность, полнота, ценность, актуальность, ясность). Анализ понятий неопределенности данного положения показал, что содержательно группа понятий включает большое количество определений, которые тем или иным способом дают оценку информации. Чаще всего оценка информации в контексте неопределенности связана с достоверностью сведений и данных, их полнотой и объективностью.

Пятое положение о неопределенности говорит, что неопределенность является атрибутивным источником риска. Априори риск действительно находится в прямой зависимости от неопределенности, то есть при росте неопределенности возрастает и риск. Величина прироста может меняться и обусловлена эластичностью рисков по отношению к неопределенности. Вопросу взаимосвязи неопределенности и рисков посвящены многие научные работы, в которых утверждается, что неопределенность является прямым источником рисков.

Шестое положение о неопределенности говорит, что неопределенность предполагает неоднозначность реализации событий, порождаемая факторами неизвестной природы. Использование синтетического подхода к исследованию данного положения о неопределенности приводит к тому, что оно очень схоже с третьим положением – возможности выбора альтернатив и множественности данного выбора. Однако суть положения о неоднозначности реализации событий подразумевает результат возникновения каждого события. Решение принимается в условиях неопределенности, когда невозможно оценить вероятность потенциальных результатов. Это должно иметь место, когда требующие учета факторы настолько новы и сложны, что насчет них невозможно получить достаточно релевантной информации. Таким образом, неопределенность и создает множественность результатов, которые в дальнейшем подвергаются взвешенной оценке при анализе рисков с использованием математического ожидания и других средств усреднения.

В седьмом положении неопределенность является естественным ограничением управляемости и стабильности сложной системы или процесса. Энтропия является параметром оценки неопределенности в сложных системах и процессах. В общем случае, энтропию можно охарактеризовать как меру хаоса, беспорядка. Обратным проявлением энтропии является негэнтропия и ее суть обратно пропорциональна энтропии. Она характеризует упорядоченность системы. Отношение энтропии и негэнтропии описывает возможность системы быть в устойчивом, стабильном состоянии. Это состояние говорит об управляемости системы. Чем выше управляемости системы, тем система является более гибкой к воздействиям внешней и внутренней среды. Таким образом, в сложных системах и процессах существует порог управляемости и стабильности, который

детерминирован неопределенностью. С этим связано возникновение сопряженных теорем: теоремы предельной управляемости (неопределенности) и теоремы предельной самоорганизации (стабильности).

Большинство сложных систем и процессов состоят из совокупности целого ряда взаимосвязанных многорежимных подсистем, функционирование которых направлено на достижение общих целей. В свою очередь для каждой подсистемы может быть определена цель ее функционирования. Между элементами системы могут существовать внутренние материальные, энергетические и информационные связи, а также система может иметь связи с другими объектами и в ее работе могут участвовать люди и машины и внешняя среда.

Большинство систем, в которых протекают различные процессы, функционируют в условиях неопределенности. Эта неопределенность возникает по ряду причин, основными из которых являются:

- сложность объекта и недостаточная изученность процессов, протекающих в нем;
- стохастическая природа основных параметров, описывающих функционирование объекта либо процесса;
- наличие большого количества возмущающих воздействий и помех, зашумленность информации;
- недостаточная достоверность исходной статистической информации, обусловленная низкой надежностью, нехваткой или отсутствием средств сбора и обработки информации;
- недостатки методов обработки информации.

Один из вариантов классификации неопределенности представлен на рис. 1.

Таким образом, основными источниками неопределенности в моделях сложных систем являются недостаточность и нечеткость исходной информации. От правильности и удачности выбора модели во многом зависит весь ход дальнейшего исследования сложной системы или процесса.



Рис. 1. Классификация неопределенностей

Конечно, при построении модели желательно получить ее четкое описание. Однако попытки получить четкое описание сложной системы или процесса в тех случаях, когда иная информация о них, кроме нечеткой, недоступна, путем задания строгих границ искусственным введением однозначности, приводит к огрублению исходных данных, которое может способствовать получению четких, но не адекватных моделей и поэтому это не целесообразно. Тем не менее и в этом случае целесообразно попытаться выде-

лить в нечеткой в целом системе или процессе отдельные ее части, поддающиеся четкому описанию.

Таким образом, уже в самом начале процесса построения модели следует ответить на вопрос, какой тип модели четкий или нечеткий может быть получен, исходя из имеющейся информации о системе или процессе в целом или об их составляющих частях.

Неопределенности внутренних состояний модели. Одним из видов неопределенностей, который относится к неопределенностям, связанных со сложностью объекта и недостаточной изученностью процессов, протекающих в нем, является неопределенность внутренних состояний объекта. Такая неопределенность затрудняет применение дедуктивного подхода при создании объекта, поскольку такой подход требует досконального знания процессов, протекающих в объекте наблюдения. Решением при создании моделей систем и процессов, внутренние состояния которой являются неопределенными, является применение индуктивного подхода. Суть индуктивного подхода заключается в использовании данных наблюдений за объектом или процессом для построения их математической модели без учета внутренних состояний объекта. Если говорить более точно, то внутренние состояния на самом деле учитываются, но они скрыты внутри самой математической модели, и исследователь не может делать никаких предположений о состояниях системы или процесса на основании их математических моделей. Для того, чтобы исследовать внутренние состояния сложной системы или процесса, необходимо воспользоваться предложенным в [2] модифицированным алгоритмом метода группового учета аргументов.

Данный метод отличается от стандартного метода группового учета аргументов тем, что с его помощью можно строить не функциональные (математические) модели, базовыми строительными элементами которых являются полиномы, а блочные модели, базовыми элементами которых являются автоматы. Блочные модели могут быть представлены детерминированными либо недетерминированными автоматами-распознавателями и преобразователями. Самым главным в применении этого модифицированного метода является то, результатом является автомат, а значит можно определить количество состояний в модели, а также можно исследовать, какую роль играет данное состояние в том или ином сложном процессе либо системе.

Ниже более детально рассмотрен модифицированный алгоритм метода группового учета аргументов.

Блочные модели могут быть представлены как автоматами-распознавателями, так и автоматами-преобразователями, но наиболее удобным для моделирования является автомат-преобразователь, поскольку у него есть множество как входных, так и выходных состояний, а у автомата-распознавателя выходным является множество принимающих состояний.

Конечный детерминированный автомат-преобразователь – это система вида:

$$A = \langle \Sigma_x, \Sigma_y, Q, q_0, \Phi, \Psi \rangle, \quad (1)$$

где $\Sigma_x = \{a_1, \dots, a_m\} (m \geq 1)$ – конечное множество – входной алфавит;

$\Sigma_y = \{b_1, \dots, b_r\} (r \geq 1)$ – конечное множество – выходной алфавит;

$Q = \{q_0, \dots, q_{n-1}\} (n \geq 1)$ – конечное множество – алфавит внутренних состояний;

$q_0 \in Q$ – начальное состояние автомата;

$\Phi: Q \times \Sigma_x \rightarrow Q$ – функция переходов, $\Phi(q, a)$ – это состояние, в которое переходит автомат из состояния q , когда получает на вход символ a ;

$\Psi: Q \times \Sigma_x \rightarrow \Sigma_y$ – функция выходов, $\Psi(q, a)$ – это символ из Σ_y , который выдает на выход автомат в состоянии q , когда получает на вход символ a .

В методе группового учета аргументов (МГУА) математическая модель процесса представлена в виде многочлена, который получают из исходного простого многочлена добавлением новых членов либо возведением уже существующих членов в степень. Необходимо найти эквиваленты таких операций для структурных моделей.

В нашем случае структурные модели представлены в виде автоматов. И, таким образом, эквивалентами операций суммы и произведения могут являться теоретико-множественные и алгебраические операции, применимые для автоматов.

В качестве эквивалентной операции для усложнения модели можно, например, использовать операцию объединения нескольких автоматов в один более сложный автомат.

Пусть у нас есть автоматы A и B . Предположим, что $A = (X_1, Q_1, Y_1, q_1 \in Q_1, F_1(x \in X_1 / y \in Y_1))$, а $B = (X_2, Q_2, Y_2, q_1 \in Q_2, F_2(x \in X_2 / y \in Y_2))$, тогда автомат $C = (X, Q, Y, q_1 \in Q, F(x \in X / y \in Y))$ является объединением автоматов A и B , если множества X , Q и Y и отображение F определяются по формулам:

$$X = (\{1\} \times X_1) \cup (\{2\} \times X_2), \quad (2)$$

$$Q = Q_1 \cup Q_2, \quad (3)$$

$$Y = (\{1\} \times Y_1) \cup (\{2\} \times Y_2), \quad (4)$$

$$Fq = F_1q \cup F_2q, \quad (5)$$

где $q \in Q$. В том случае, когда $q \notin Q_1$, полагаем $F_1q = \emptyset$, а при $q \notin Q_2$ имеем $F_2q = \emptyset$.

Если

$$X_1 \cap X_2 = \emptyset \quad (6)$$

и

$$Y_1 \cap Y_2 = \emptyset, \quad (7)$$

то сумму множеств в (5) и (7) можно заменить объединением множеств:

$$X = X_1 \cup X_2, \quad (8)$$

$$Y = Y_1 \cup Y_2. \quad (9)$$

Пример усложнения модели путем объединения двух автоматов более детально рассмотрен в [2]. Кроме операции объединения двух автоматов, существует еще операция пересечения двух автоматов, но эта операция не подходит для усложнения структурной автоматной модели, поскольку она упрощает структуру модели, а не усложняет ее. Над автоматами можно еще производить алгебраические операции, такие как умножение, суммирование, суперпозиция и композиция [3], что также можно использовать для усложнения блочных моделей. Модифицированный алгоритм метода группового учета аргументов направлен на определение внутренних состояний блочной модели для последующего их изучения. В дедуктивном подходе существует иная ситуация, когда необходимо знать внутренние состояния модели в процессе ее создания.

Например, при создании моделей с использованием агентного формализма, как и при создании моделей с использованием других формализмов, часто могут возникать неопределенность внутренних состояний модели, что чаще всего связано со сложностями изучения реального объекта. Часто на начальных этапах известны далеко не все данные о состояниях объекта или процесса.

Агентные модели являются представителями объектно-ориентированных моделей, в которых состояния представлены в виде атрибутов объектов. В процессе усложнения модели число таких атрибутов может увеличиваться, что приводит к необходимости изменения программного кода модели. Однако внесение изменений в программный код требует дополнительных накладных расходов на тестирование этих изменений, а также

времени на перекомпиляцию модели. Современные объектно-ориентированные языки, такие как Java и C#, предоставляют механизм рефлексии, который позволяет создавать классы во время выполнения программы без перекомпиляции, что существенно ускоряет процесс добавления новых атрибутов в объекты.

Неопределенность точки завершения усложнения модели. Еще одним видом неопределенностей, который не столько связан с данными, сколько с самим процессом создания модели, является неопределенность точки завершения создания модели.

Неопределенность точки остановки создания модели связана с тем, что процесс создания модели является больше творческим процессом, чем заданной последовательностью действий, по завершению которой будет создана модель. Таким образом, четких этапов создания модели не существует. Кроме того, главными в моделировании являются не сами модели, а эксперименты над этими моделями и выводы по экспериментам. Но количество моделей, которые необходимо создать, со временем увеличивается, и появляются некоторые общие черты при их создании. Особенно хорошо это заметно при создании программных моделей, поскольку жизненный цикл модели при этом схож с жизненным циклом программы, что означает, что на схожих этапах можно использовать одни и те же инструментальные средства. Наиболее удачная последовательность действий была приведена в [4].

Основными этапами создания модели являются формулирование проблемы и содержательная постановка задачи, разработка концептуальной модели, разработка программной реализации модели, которая в свою очередь состоит из выбора средств моделирования, с помощью которых будет реализована модель, разработки структурной схемы модели и составления схемы ее функционирования, программной реализации модели [4]. Завершающими этапами создания модели являются проверка адекватности модели, организация и планирование проведения эксперимента, интерпретация результатов моделирования и принятие решений, оформление результатов моделирования.

Процесс создания модели не является однократным, а является итеративным процессом. Каждая итерация моделирования требует от разработчика принять решение, является ли модель окончательной и в достаточной степени схожей с реальным объектом либо процессом, либо необходимо произвести еще одну итерацию с усложнением внутренней структуры модели. При этом необходимы четкие формальные критерии, с помощью которых можно было бы принять решение о необходимости следующей итерации. Такие критерии существуют в индуктивном подходе к моделированию, но нет четких критериев остановки процесса моделирования в дедуктивном подходе. После каждого этапа итерации построения модели необходимо проверить корректность создания концептуальной модели – валидацию и проверить корректность реализации модели – осуществить верификацию модели. Во время проверки достоверности необходимо ответить на вопрос о соответствии модели моделируемой системе, то есть определить, в какой мере модель и система изоморфны. Как правило, в случае моделирования требование изоморфизма модели и объекта чрезмерны, потому что в этом случае сложность модели должна соответствовать сложности объекта. Поэтому строят гомоморфные модели, в которых выполняется условие однозначного соответствия модели объекту. На этапе верификации рассматривают, правильно ли преобразована концептуальная модель (модельные предположения) на компьютерную программу, то есть производят настройку программы моделирования. Это сложное задание, поскольку может существовать множество логических путей. Этап проверки корректности реализации модели включает проверку эквивалентности преобразования модели на каждом из этапов ее реализации и сравнение состояний. В этом случае модель претерпевает таких изменений: концептуальная модель – математическая модель – алгоритм моделирования – программная реализация модели.

Валидация – это процесс, который дает возможность определить, является ли модель (а не компьютерная программа) точным отображением системы для конкретных целей исследований. Разрабатывают план проведения экспериментов с моделью для достижения поставленных целей. Основная цель планирования экспериментов – изучение поведения моделируемой системы при наименьших затратах во время экспериментирования. Наиболее часто проводят следующие эксперименты:

- сравнивают средние значения и дисперсии разных альтернатив;
- определяют важность учета влияния переменных и ограничений, которые накладываются на эти переменные;
- определяются оптимальные значения с определенного множества возможных значений переменных.

Проведение экспериментов планируют для поиска незначимых факторов. В случае оптимизации какого-нибудь числового критерия формируют гипотезу относительно выбора наилучших вариантов структур моделируемой системы или режимов ее функционирования, определяют диапазон значений параметров (режимов функционирования) модели, в пределах которого находится оптимальное решение. Определяют количество реализаций и время прогона модели каждой реализации. Проводят экстремальный эксперимент, по результатам которого находят оптимальное значение критерия и соответствующие значения параметров. Для оценки точности стохастических моделей строят доверительные интервалы для получения выходных переменных.

Проверка модели на адекватность является одним из критериев завершения итерации жизненного цикла модели наряду с модульным и интеграционным тестированием программной реализации модели. Проверка модели на адекватность выполняется в том случае, если было проведено экспериментирование с реальным объектом либо процессом. В случае, если данные наблюдений над реальным объектом либо процессом отсутствуют, необходимо проводить верификацию модели. Проверка модели на адекватность (верификация в случае отсутствия данных наблюдения) похожа по своей природе на тестирование. Задачей тестирования является сравнение выходных данных с эталоном, задачей проверки модели на адекватность является проверка адекватности отклика при заданных входных значениях фактора. В случае верификации модели, когда отсутствуют данные наблюдения за реальным объектом либо процессом, сравнение данных не происходит, а проводится исследование набора откликов модели с использованием набора специальных методов. Таким образом, отличием процесса тестирования модели от процесса проверки ее на адекватность является то, что при проверке модели на адекватность производится проверка наборов входных и выходных данных, а не значений единичного эксперимента. При тестировании чаще всего происходит сравнение выходного результата функции с эталоном. Таким образом, для того чтобы обеспечить автоматизацию процесса проверки модели на адекватность (верификацию), необходимо расширить инструментально средство тестирования дополнительным функционалом для подачи на вход теста наборов данных, например с базы данных, а также функционалом для проведения корреляционного анализа, на основании которого будет применяться решение о адекватности модели.

Неопределенности входных данных моделей. При создании моделей важную роль играют входные данные. При дедуктивном подходе роль этих данных выполняют результаты исследования сложного объекта либо системы, произведенные на основании этих данных выводы, либо личный опыт эксперта, занимающегося созданием модели. При индуктивном подходе входными данным являются выборки наблюдения за системами либо процессами. Сложные системы либо процессы могут вести себя произвольным образом, и их поведение может изменяться во времени по определенным законам.

Время наблюдения за объектом либо процессом может быть ограничено во времени из-за внешних факторов, таких как малое время жизни объекта либо протекания процесса. Это может приводить к появлению неполноты входных данных для создания моделей.

Существует множество способов устранения неполноты данных уже после этапа сбора данных: заполнение средним значением, пропорциональное размещение наблюдений с пропущенными данными по уже имеющимся грациям шкалы, расчет возможного значения при помощи регрессионной модели и так далее. Заполнение пропусков позволяет не только получить дополнительную информацию (предсказание значения), но и сохранить уже имеющуюся, часто очень важную и полученную ценой значительных усилий информацию за счет сохранения наблюдений изначально содержащих пропуски.

Заполнение пропусков данных, кроме достоинств, имеет и несколько недостатков, которые нельзя не учитывать:

- использование для предсказания пропусков имеющихся полных данных искажает структуру результирующих данных, которая смещается в сторону структуры только полных данных;
- искусственная подстановка пропусков вносит в массив определенную долю искусственных данных, которые в свою очередь приводят к смешиванию значимости получаемых на их основании результатов.

Существует большая вероятность того, что модели, построенные по данным с заполненными пропусками, будут менее точными по сравнению с моделью, построенной только на полных данных. Потери в их точности будут зависеть от качества предсказания существующих значений. Но, потеряв в точности, можно выиграть в репрезентативности результатов.

При выборе метода восстановления пропущенных данных следует учитывать, что, так как алгоритмы заполнения пропусков не универсальны, возможность применения того или иного способа заполнения зависит от метода анализа данных, который планируется использовать в дальнейшем.

Наиболее популярные методы устранения неопределенности входных данных отражены на рис. 2.

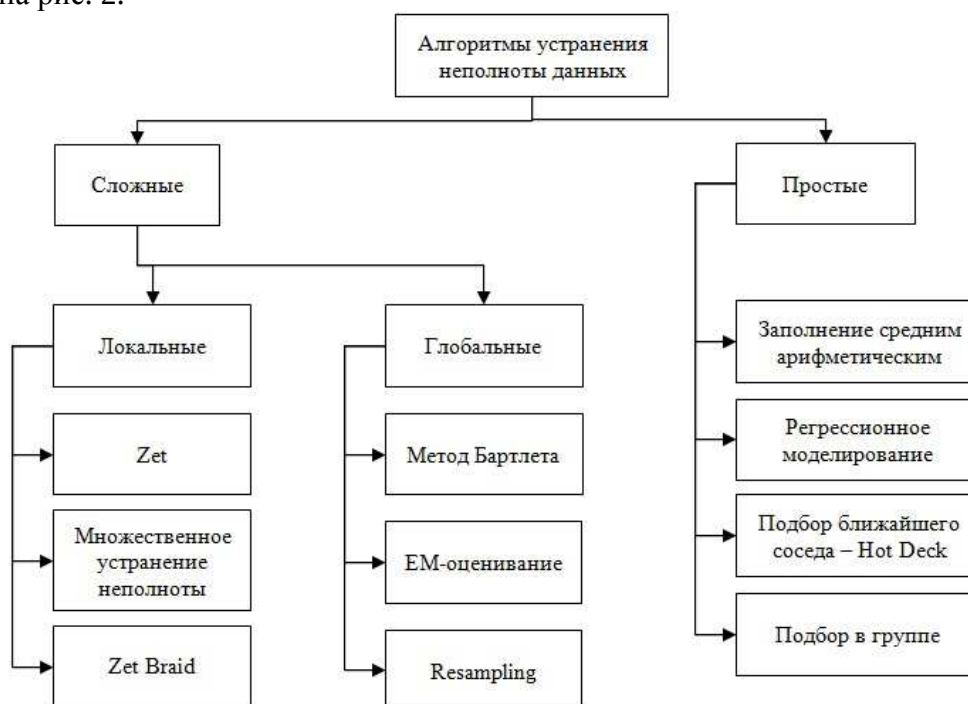


Рис. 2. Классификация алгоритмов устранения неполноты данных

Простые алгоритмы – неитеративные алгоритмы, основанные на простых арифметических операциях, расстояниях между объектами, регрессионном моделировании. К ним относится заполнение пропусков средним арифметическим, регрессионное моделирование пропусков, метод HotDeck и подбор в группе.

Сложные алгоритмы – итеративные алгоритмы, предполагающие оптимизацию некоторого функционала, отражающего точность расчета подставляемых на место пропуска значений. Их можно разделить на глобальные и локальные алгоритмы. В глобальных алгоритмах в оценивании каждого пропущенного значения учувствуют все объекты рассматриваемой совокупности: метод Бартлета, ЕМ – оценивание и Resampling.

В локальных алгоритмах в оценивании каждого пропущенного значения участвуют полные наблюдения, находящиеся в некоторой окрестности предсказываемого объекта. К данной группе относятся алгоритмы Zet и Zet Braid.

Выводы. Процесс создания моделей сложных объектов и процессов часто содержит различного рода неопределенности. Можно выделить такие виды неопределенностей, как неопределенности внутренних состояний модели, неопределенности входных моделей и даже такой вид неопределенности, как неопределенность точки завершения создания модели. Неопределенности внутренних состояний модели можно решить через модифицированный алгоритм метода группового учета аргументов, в котором вместо математической модели производится создание блочной модели на основании автоматных моделей. На основании блочной модели на выходе можно примерно судить о внутренних состояниях модели, а в итоге и о внутренних состояниях сложной системы либо процесса. Неопределенности входных данных модели можно устранять путем различных методов их устранения, таких как метод заполнения средним значением, подбором внутренних групп либо метод Hot Deck. В отличие от индуктивного подхода при создании моделей, в индуктивном подходе нет четкого критерия остановки итеративного усложнения модели. Проверка модели на адекватность является одним из критериев завершения итерации жизненного цикла модели наряду с модульным и интеграционным тестированием программной реализации модели.

Список использованных источников

1. Кузьмин Е. А. Неопределенность и определенность в управлении организационно-экономическими системами / Е. А. Кузьмин. – Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2012. – 184 с.
2. Литвинов В. В. Создание блочных моделей систем и процессов с использованием метода группового учета аргументов / В. В. Литвинов, А. А. Задорожний // Математические машины и системы. – 2012. – № 2. – С. 107–116.
3. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов / В. М. Глушков. – М. : Физматгиз, 1962. – 476 с.
4. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К. : Видавнича група ВНУ, 2007. – 352 с.

UDC 621.3.05

Volodymyr Kazymyr, Doctor of Technical Sciences**Andrii Mokrohuz**, PhD student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGIES OF BIOMETRIC SECURITY FOR MOBILE DEVICES

В.В. Казимир, д-р техн. наук**А.О. Мокрогуз**, аспірант

Чернігівській національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕТРИЧНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

В.В. Казимир, д-р техн. наук**А.А. Мокрогуз**, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

This article provides an overview of biometric security for mobile devices. Biometric security systems that use the retina, voice, facial geometry, fingerprints, signature and others have been considered. Analysis of the advantages and disadvantages of biometric security systems is carried out in terms of integration with mobile devices. Improvement of biometric security for mobile devices using the existing systems of biometric security is proposed.

Key words: biometric security, biometrics, mobile device, recognition systems.

Представлено огляд біометричної безпеки для мобільних пристроїв. Розглянуто системи біометричного захисту, які використовують сітківку ока, голос, геометрію обличчя, відбитки пальців, підпис та інші. Аналіз переваг і недоліків біометричних систем безпеки здійснюється з погляду інтеграції з мобільними пристроями. Запропоновано варіант удосконалення біометричної безпеки для мобільних пристроїв, використовуючи наявні системи біометричного захисту.

Ключові слова: біометрична безпека, біометрія, мобільний пристрій, системи розпізнавання.

Представлен обзор биометрической безопасности для мобильных устройств. Рассмотрены системы биометрической защиты, использующие сетчатку глаза, голос, геометрию лица, отпечатки пальцев, подпись и другие. Анализ преимуществ и недостатков биометрических систем безопасности осуществляется с точки зрения интеграции с мобильными устройствами. Предложен вариант усовершенствования биометрической безопасности для мобильных устройств, используя существующие системы биометрической защиты.

Ключевые слова: биометрическая безопасность, биометрия, мобильное устройство, системы распознавания.

Introduction. Before consideration of using biometric security with the mobile devices in the future it is useful to look back and pay attention to the main events in the history of the biometrics and the biometric security development.

The term ‘biometrics’ consists of two Greek words ‘bio’ (life) and ‘metrics’ (to measure). The origin of biometric technology is much older than suggested by their futuristic image. The creators of the Great Pyramids in ancient Egypt recognized the benefits of working on the identification of pre-recorded personal characteristics. Egyptians are clearly ahead of their time, as for the next four thousand years in this area practically nothing new happened. Only in the late 19th century began to emerge systems using fingerprints and other physical characteristics to identify people. For example, in 1880, Henry Faulds, a Scottish physician, who lived in Japan, published his reflections on the diversity and uniqueness of fingerprints, and suggested that they may be used to identify criminals. In 1900 Galton-Henry published a significant work about a system of fingerprint classification. Every 3-5 years after 1930 some significant researches had been made in the field of the biometrics before nowadays. The development of the biometrics became faster with the improvement of computer systems in 20th century [1]. Meaning of the ‘biometrics’ is changed due to the rapid development of the computer systems. There is a quite good definition of the biometrics which is “the process by which a person's unique physical and other traits are detected and recorded by an electronic device or system as a means of confirming identity: Scanning of the human iris is a reliable

form of biometrics” [2]. And another definition is “the analysis of biological data using mathematical and statistical methods the practice of digitally scanning and the physiological or behavioral characteristics of individuals as a means of identification” [2].

There are a lot of different types of systems which use the biometric security for person recognition and providing access to some information. These systems are based on fingerprints recognition, face recognition, iris recognition, voice recognition and others. Biometric security systems are used in different fields of human life, for instance, healthcare industry, government agencies, customer market, etc. The mobile devices protection could be implemented using biometrics, but there are still some problems dealing with technology of biometric security. There are many types of biometrics can be measured and used for protection in the mobile device. It is required to choose the most appropriate variant and consider the main advantages, disadvantages, potential risks, and benefits of the technology. Ethical problem is also one of the most important, because many people will not use biometric security on their mobile device and this problem requires consideration as well.

So this work considers biometric security technologies with short overview of each one including drawbacks, benefits, risk, etc. Some choices of biometrics recognition systems that can be used with mobile devices in the future are presented in the paper.

It is also required to determine the meaning of the ‘mobile device’ in terms of this article. People usually associate term ‘mobile device’ with smartphone, tablet or laptop, but many different and unusual mobile devices will appear in the future and this can change the concept of ‘mobile device’. For instance, Google glass is a good example of entirely new mobile device which was produced only in 2012 [3]. Mobile robots [4] which can perform some actions are another example of mobile device of the future.

Overview of biometric security for mobile devices. Many biometrics solutions exist nowadays. Some of them are used for biometric security systems and are able to provide appropriate level of protection. A survey of the biometric security systems [5] provides information about existing biometric security systems and their effect on people’s life in the future. Author of the article presents such solutions as facial recognition detector, fingerprint reader, voice recognition, iris scanner and recognition, veins recognition, DNA biometrics and 2D barcode scanner [5]. It is possible to add hand geometry and signature recognition solutions to this list [6]. As it was mentioned above, these approaches are able to provide security. Author of the article [6] gives some advantages of the biometric security. For instance, the biometric security is much preferable than traditional password-based authentication schemes, because they are more reliable than password-based system as biometric traits cannot be lost or forgotten. It is very hard to copy, distribute or share biometrics traits. Another significant advantage of biometrics is that they require person to be present at the time and the point of authentication. Thus, biometrics is more powerful than standard password-based systems, but it can be enhanced with password as well [6].

Two types of protection can be provided by the biometric security systems. They are physical access control and logical access control. Physical access control can be used for access devices which are applied at doors or computers. Logical access is a process of accessing data or computer programs [5]. Mobile devices can be used for different purposes in the future, so it will be possible, using biometric security, to provide both logical access and physical access. Using biometric security for logical access is an obvious and straight forward task, but how mobile device protected with biometric security can be used for physical access presents source [7], where smartphone with special application installed on it plays role of e-key. This application replaces houses keys and allows using smartphone as digital key, as seen in Fig. 1.

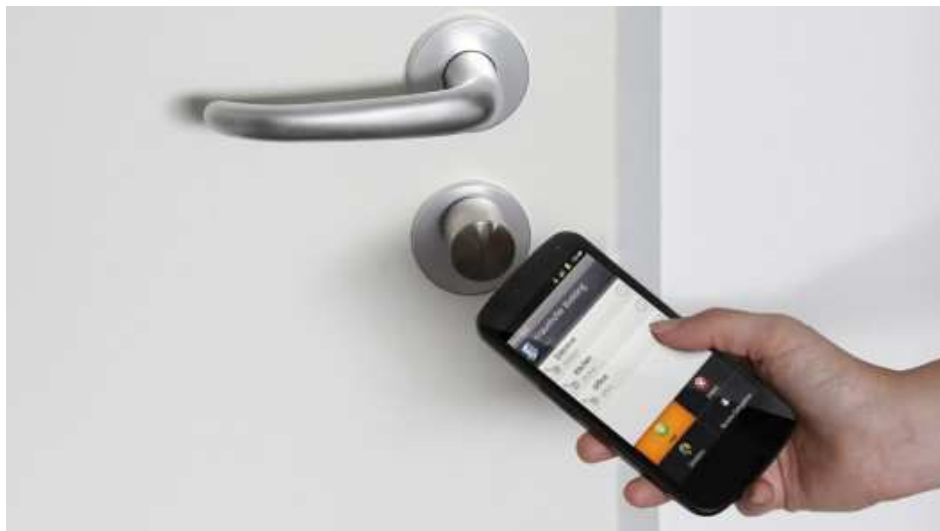


Fig. 1. Smartphone is a digital key [7]

Another variant of using mobile devices is presented in the source [8]; Google wallet application is presented in this article and it replaces credit cards with smartphone. Mobile device will be able to perform a lot of actions in the future and some of them definitely require high level of security which can be provided by using biometrics. These two examples demonstrate very important role of the mobile device.

- Fingerprint recognition

The biometrics undoubtedly has advantage over standard schemes of security and authentication. Therefore, the most appropriate approaches should be chosen for mobile device security. One of them is fingerprint recognition. This approach is based on uniqueness of the different patterns of ridges which are the upper layer of skin [5]. This solution has a lot of advantages. For instance, it has very high accuracy, it is the most economic and widely spread solutions for PC, it is the oldest [1] and the most developed biometrics, it is standardized. Moreover, mobile devices with fingerprint recognition systems are available now. It is very popular solutions, but it has some disadvantages and social problems as well. One of the significant drawbacks is possibility to bypass fingerprint scanner using some technics. These technics were demonstrated in one of the episodes of 'Mythbusters' [9]. This episode demonstrates possibility of bypassing fingerprint recognition security system using finger pads which were made from different materials such as ballistic gel, silicon, etc. However, there are a lot more disadvantages for this approach. Dirty or dryness of the finger's skin can be a reason of fingerprint scanner mistakes. It is impossible to use scanner for children, because the size of their fingerprint changes very quickly. There is also one big ethical problem dealing with this solution. Some people will never use the fingerprint security system on their mobile devices, because it is still related to the criminal identification [10]. So, using the fingerprint security system with mobile devices may not be possible without some modifications in the future.

- Face recognition

Every mobile device has a camera which can be used as a face recognition scanner nowadays. The face is one of the easiest characteristic which can be used for security purposes. In the future it will not be difficult to install high definition camera special for this purpose in every mobile device. The obvious advantages of the face recognition systems are:

1. does not require special hardware for face recognition, because it uses only camera;
2. it is cheap technology;
3. it is non-intrusive, because users of mobile devices do not need perform any additional actions to get access to their device [10].

This approach is not unique as other biometrics recognition systems such as retinal, iris and DNA (Deoxyribonucleic acid) recognition. Camera can provide only 2D recognition, so quality of recognition can be affected by changes in lighting, the person's hair, age and if person wear glasses [10]. This solution can be used in the future, but 2D recognition should be replaced by 3D recognition. This will help reduce errors and mistakes in recognition system and provide higher level of security. 3D scanners are available nowadays. However, their size may not compatible with some mobile devices and this restricts using of the face recognition systems. Therefore, reducing the size of the 3D scanners is one of the priority tasks to make them appropriate for mobile device.

- Iris recognition

This approach is focused on specific traits of human eye and uses characteristics of the iris. There is a definition of the iris "The iris is the annular region of the eye bounded by the pupil and the sclera (white of the eye) on either side. The visual texture of the iris is formed during fetal development and stabilizes during the first two years of life. The complex iris texture carries very distinctive information useful for personal recognition" [6]. So, it is possible to use iris traits in biometric security systems. The iris recognition has very high accuracy. FMR (False match rate) and FNMR (False non-match rate) of iris recognition gives result 0,99 % and 0,94 % [6]. This fact makes iris recognition systems is the most reliable in comparison with other approaches. Moreover, scanning of the iris takes about 5 seconds, so it is very fast approach as well. It is impossible to use eye of the dead person to bypass this system, because iris of the dead person deteriorates very fast to be useful [10].

Taking into account all advantages of the iris recognition system it seems very promising, but some drawbacks exist for this solution. These systems are very expensive nowadays, but in future this problem may be solved. There is an ethical problem which can delay introduction mobile device with iris recognition system to people. The iris recognition system is very intrusive, because user has to keep his eye too close to the iris scanner and this can be annoying for some people [10]. Therefore, it is required to concentrate efforts on overcoming of this problem. Nevertheless, this solution can be used for protection of mobile devices.

- Hand geometry and veins recognition

Hand of the human being is very unique and traits of the hand can be used in biometric security systems as well. Hand geometry recognition systems are based on measurements taken from the human hand. For instance, these measurements can be size and shape of palm, height and width of fingers [6]. Another measurement that can be taken from the human hand is veins topology. Every person's vein has unique physical traits that can be useful for recognition systems. Recognition system is able to capture image pattern of the veins, as seen in Fig. 2 [5].

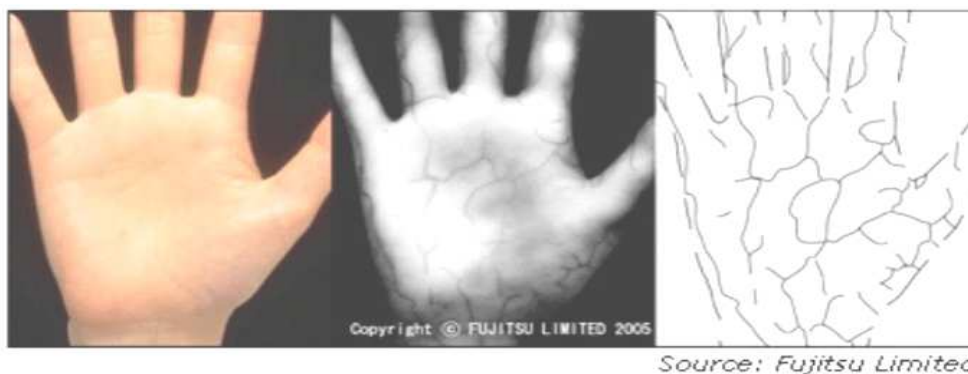


Fig. 2. Example of vein scanning [5]

These two approaches can be used together to increase quality of recognition and provide better level of security. The advantages of vein and hand geometry systems are very impressive:

1. very high level of accuracy;
2. only 1/2 sec is required to verify person;
3. does not have negative attitude of society [10].

This solution is one of the most appropriate, but for mobile device it is almost unacceptable. Firstly scanners of the hand are too large [6] to be used with mobile device. Person has to put palm on scanner to be verified, but arthritic person cannot do this properly, so errors in recognition are possible. Therefore, it is required to change principle of scanning of the person's hand in the future. For instance, it may be some kind of 3D scanner that can be applied for face recognition as well. Children cannot use hand geometry and veins recognition systems, because their hand is changing fast during the growth period [6].

Mobile device with hand geometry and veins recognition security systems can be used in the future, but it is required to solve problems dealing with method of scanning and size of scanners.

- **DNA recognition**

This solution is the most reliable and accurate. It is based on DNA biometrics which is impossible to fake, because each person's DNA is unique. The author of the source [5] states that "each cell in the human body contains a copy of this DNA. DNA profiling will decide the amount of VNTR (variable number tandem repeat) which repeats at a number of distinctive loci. These amounts of VNTR will make up an individual's DNA profile" [5]. DNA recognition systems use unique characteristics which are standardized, so the probability of mistakes is very low. Nevertheless, DNA recognition systems do not widespread as other systems and there are reasons for this. One of the most significant drawbacks of the DNA recognition systems is need to get physical samples such as hair or blood to collect DNA data. This process is not convenient for person and many people will not use this solution on their mobile devices [5]. Moreover, these systems are very expensive and require a lot of time to identify person. So, security systems with DNA recognition could be used in the future, but it is required to make DNA recognition less intrusive and decrease time of recognition. And even after all these improvements many people refuse using DNA recognition security system.

- **Voice recognition**

Human's voice has unique traits such as voice tract and voice accent [5]. These two features of the voice make it useful for biometric identification of a person. Biometric security systems which use voice recognition systems can be a good solution for mobile devices, because voice recognition has high social acceptability, it is not intrusive, verification time is about 5 seconds and it is very cheap technology [10]. Term 'mobile device' implies that this device is used everywhere. People may use it in crowded places, in the street, at home etc. The voice recognition systems are very sensitive to the background noise. Nevertheless, it is not all drawbacks for these systems. Another significant disadvantage is that voice can change due to the age, medical conditions, weather or emotional state [6]. Thus, improvements of the voice recognition are required in the future. Mobile devices with voice recognition systems will not require additional hardware and this will make them more compact and comfortable to use.

Only the most appropriate biometrics technologies were considered for mobile devices of the future, but there a lot more biometrics that can be measured and used for security purposes in the future. Table 1 shows some comparison of biometric technologies.

Only visible biometrics of the human body was considered in this paper, but 'hidden' biometrics exists and can be used for security purposes. Source [12] gives examples of hidden biometrics such as using MRI and X-RAY images to measure human body hidden biometrics [12], but this approach does not suitable for mobile devices even in the future, so consideration of these technologies is beyond the scope of this paper.

Table 1

Comparison of various biometric technologies [6]

Factors →							
Biometric identifier ↓	Universality	Distinctiveness	Permanence	Collectable	Performance	Acceptability	Circumvention
Face	H	H	M	H	L	H	H
Fingerprint	M	H	H	M	H	M	M
Hand geometry	M	M	M	H	M	M	M
Iris	H	H	H	M	H	L	L
Keystroke	L	L	L	M	L	M	M
Signature	L	L	L	H	L	H	H
Voice	M	L	L	M	L	H	H

Appropriate types of biometric security for mobile devices. Mobile device performs some vital actions in the future. So, a very high level of security is required to restrict unauthorized access. It is assumed that mobile devices play role of a wallet, a key, a passport, etc. They store private and maybe secret information. As it was mentioned above biometrics security has advantage over standard authentication and authorization systems which are used nowadays. Nevertheless, every biometric recognition technology together with benefits has significant drawbacks. Thus, using only one biometric security system on the mobile device will not provide an appropriate security level. Several security systems may need to be installed in mobile devices. These biometric security systems should not be intrusive and collect biometrics data insensibly for user.

Development of the biometric security systems will allow realization of this concept, but development of the bypass technologies will progress in the future as well. So, even several security systems on the mobile device will not be enough. Thus, it is required to provide some algorithm that will prevent bypass cases or will make bypass inefficient. For instance, mobile device has four biometric recognition (security) systems installed on it. They are a face recognition security system, an iris recognition system, a voice recognition system and a hand recognition system. These systems work in turn and collect data randomly. It is possible that only two systems work at one moment of time, but the user does not know which system is verifying him at that moment, because systems collect data insensibly for user. If user is able to provide biometrics data, for instance, for face recognition security system and for iris recognition system he gets an access to the data on the mobile device. This should prevent bypass, because even if someone has all required artificial biometric traits, it is impossible to guess which biometrics traits are required at that moment to get access to the device because of randomly collecting of the biometric data.

It is assumed that this approach will prevent illegal access to the mobile device for unauthorized persons. Nevertheless, there are some problems dealing with this concept of the mobile device with several biometric security systems. Firstly, mobile device has to have a very powerful hardware to provide resources for several security systems. Secondly, all biometric scanners have some level of intrusiveness; hence it is impossible to make scanning insensible for users. Therefore, these problems should be solved in the future.

Summary. Using information presented above it was defined, that not all biometric security system can be used with mobile devices. There are two main reasons for this: technical restrictions of mobile device and ethical considerations. Some of the systems require improvement. Time and technologies are also required to adjust some security systems for mobile devices.

The most appropriate biometric security systems have been chosen for mobile devices and the method of improvement of security has been presented for mobile devices in this article.

References

1. *Biometrics* history (2006, August 6) [Online]. Available : <http://www.biometrics.gov/documents/biohistory.pdf>.
2. *Dictionary* [Online]. Viewed May 5, 2013. Available : <http://dictionary.reference.com/browse/biometrics>.
3. *Google glass* [Online]. Viewed May 3, 2013. Available : <http://www.google.com/glass/start/what-it-does/>.
4. *Song-Hiang Chia*; Jr-Hung Guo; Yi-Lin Liao; Kuo-Lan Su, "Implementation of the Multiple Tasks Allocation Problem for Mobile Robots," Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), 2011 Second International Conference on , vol., no., pp. 618, 623, 5-7 Aug. 2011.
5. *Chien Le*. A survey of biometrics security systems. (November 28, 2011) [Online]. Available : <http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse571-11/ftp/biomet.pdf>.
6. *Jain, A.K.*; Ross, A.; Pankanti, S., "Biometrics: a tool for information security" Volume: 1 Issue: 2, Issue Date: June 2006, page(s): 125–143.
7. *ShareKey* smartphone app replaces your house keys [Online]. Viewed May 4, 2013. Available : <http://www.gizmag.com/sharekey-smartphone-nfc-house-keys/25653/>.
8. *Tap-to-pay* Google Wallet launched [Online]. Viewed 7 May, 2013. Available : <http://www.gizmag.com/google-wallet-launched-today/19881/>.
9. *MythBusters* Fingerprints Busted HD! [Online]. Viewed May 7, 2013. Available : http://www.youtube.com/watch?v=3Hji3kp_i9k.
10. *Advantages and disadvantages of technologies* [Online]. Viewed May 5, 2013. Available : <http://biometrics.pbworks.com/w/page/14811349/Advantages%20and%20disadvantages%20of%20technologies>.
11. *Boehnen, C.*; Flynn, P., "Accuracy of 3D scanning technologies in a face scanning scenario," 3-D Digital Imaging and Modeling, 2005. 3DIM 2005. Fifth International Conference on , vol., no., pp. 310, 317, 13-16 June 2005.
12. *Nait-Ali, A.* "Beyond classical biometrics: When using hidden biometrics to identify individuals," Visual Information Processing (EUVIP), 2011 3rd European Workshop on, vol., no., pp. 241, 246, 4-6 July 2011.

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 62-83-52:621.311.24

Д.Г. Алексеевский, канд. техн. наук

А.А. Бурова, аспирант

А.Н. Буров, канд. техн. наук

С.А. Кулаков, аспирант

Запорожская государственная инженерная академия (ЗГИА), г. Запорожье, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЭУ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЕМ

Д.Г. Алексієвський, канд. техн. наук

А.О. Бурова, аспірант

О.М. Буров, канд. техн. наук

С.О. Кулаков, аспірант

Запорізька державна інженерна академія (ЗДІА), м. Запоріжжя, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВЕУ З АЕРОДИНАМІЧНИМ МУЛЬТИПЛІКУВАННЯМ

Dmitriy Alekseyevskiy, PhD in Technical Sciences

Anastasiya Burova, PhD student

Aleksey Burov, PhD in Technical Sciences

Sergey Kulakov, PhD student

Zaporozhye State Engineering Academy (ZSEA), Zaporozhye, Ukraine

DETERMINATION OF POWER CONVERSION COEFFICIENT OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF WIND POWER PLANT WITH AN AERODYNAMIC MULTIPLICATION

Рассмотрена аэромеханическая система ветроэнергетической установки на базе схемы с аэродинамическим мультипликатором. Рассмотрена энергетическая диаграмма аэродинамического мультиплицирования с учетом потерь. На основе анализа энергетической диаграммы определен коэффициент преобразования системы аэродинамического мультиплицирования.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветротурбина, генератор, коэффициент преобразования мощности, аэродинамическое мультиплицирование.

Розглянуто аеромеханічну систему вітроенергетичної установки на базі схеми з аеродинамічним мультиплікатором. Розглянуто енергетичну діаграму аеродинамічного мультиплікування з урахуванням втрат. На основі аналізу енергетичної діаграми визначено коефіцієнт перетворення системи аеродинамічного мультиплікування.

Ключові слова: вітроенергетична установка, вітротурбіна, генератор, коефіцієнт перетворення потужності, аеродинамічне мультиплікування.

The article deals with the wind power plant aeromechanical system based on the scheme with an aerodynamic multiplier. We consider the energy diagram of the aerodynamic multiplication with the losses. On the base of the analysis of energy diagram the coefficient of conversion of aerodynamic multiplication system is determined.

Key words: wind power plant, wind turbine, generator, conversion coefficient of power, aerodynamic multiplication.

Введение. Основными способами согласования режимов работы генератора и ветротурбины в ветроэлектрогенерирующих системах, получивших сегодня широкое распространение, являются: применение мультипликатора и использование тихоходных генераторов. Каждое из этих направлений имеет свои достоинства и недостатки. Схема с мультипликатором позволяет использовать быстроходный генератор и, как следствие, улучшить его массогабаритные показатели. Однако сам мультипликатор является источником существенных механических потерь, снижает надежность системы и повышает эксплуатационные затраты. Система с тихоходным генератором позволяет избавиться от мультипликатора, но требует значительного увеличения массы и габаритов генератора.

Одним из альтернативных направлений согласования аэромеханической и электро-механической подсистем ВЭУ является применение аэродинамического мультиплицирования [1]. Эта концепция построения системы ВЭУ известна достаточно давно. Однако настоящее развитие она получила относительно недавно, благодаря усилиям специалистов фирмы «Конкорд» (г. Днепропетровск).

Анализ проблемы и постановка задачи. Дискуссионным моментом в использовании схемы с аэродинамическим мультиплицированием является вопрос о величине результирующего коэффициента преобразования всей системы. Существует мнение, что его величина значительно ниже, чем у классической системы преобразования ветрового потока, и применение этой схемы экономически нецелесообразно. В связи с этим актуальным является определение выражения для коэффициента преобразования мощности аэродинамического мультиплицирования.

Таким образом, **целью работы** является получение выражения для определения общего коэффициента передачи двойного аэромеханического преобразования.

Материал и результаты исследования. Двойное аэромеханическое преобразование, которое используется для аэродинамического мультиплицирования, может быть представлено в виде схемы, показанной на рис. 1. Энергия ветрового потока преобразуется в механическую энергию вращения первичного ветроколеса. При его вращении возникает вторичный воздушный поток, который воспринимается вторичными ветротурбинами и мощность которого преобразуется в механическую мощность на валу генераторов.

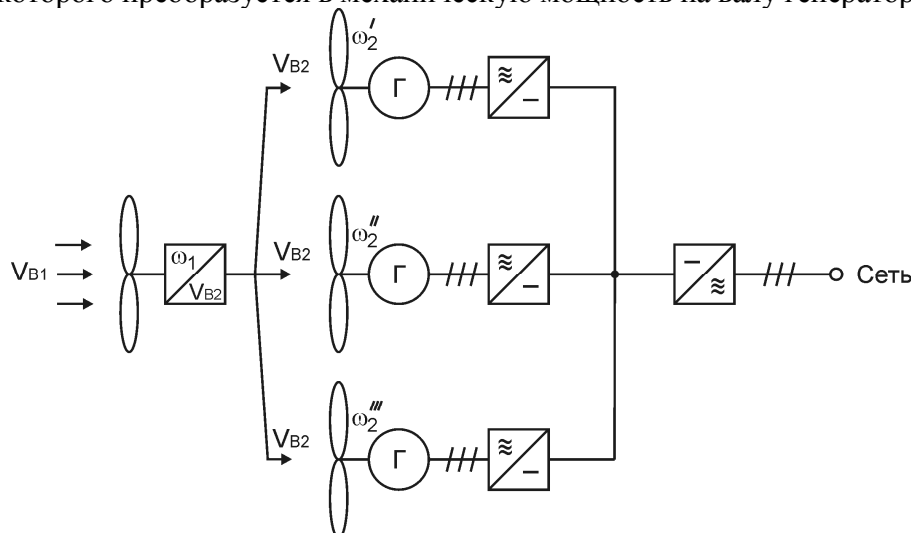


Рис. 1. Система с двукратным преобразованием

Энергетическая диаграмма системы с аэродинамическим мультиплицированием показана на рис. 2.

Мощность ветрового потока определяется из выражения:

$$P_{VB1} = \frac{\rho \cdot S_{BK1} \cdot V_{B1}^3}{2}, \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха;

S_{BK1} – площадь, ометаемая первичным ветроколесом;

V_{B1} – скорость ветрового потока.

Соответственно, мощность на валу ветроколеса:

$$P_{M1} = P_{VB1} \cdot C_{P1}, \quad (2)$$

где C_{P1} – коэффициент преобразования мощности ветрового потока первичным ветроколесом.

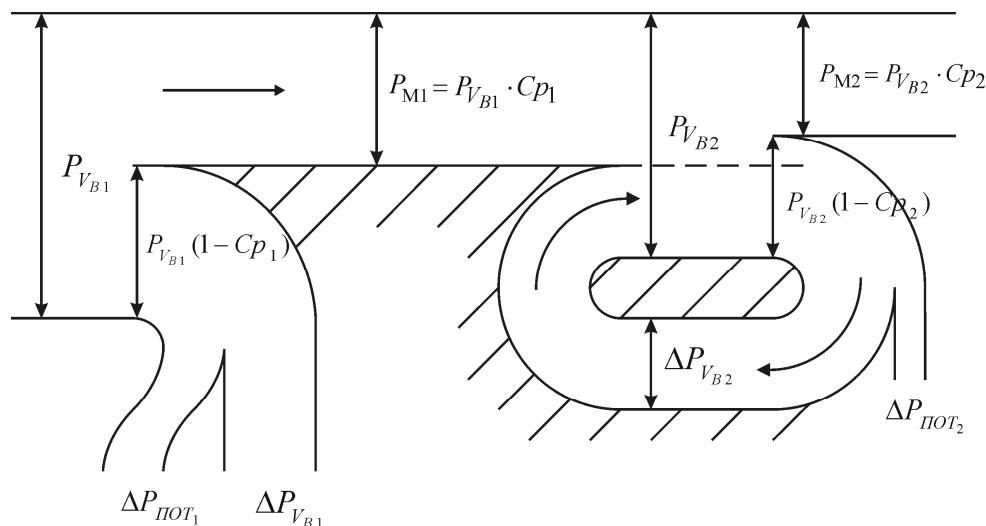


Рис. 2. Энергетическая диаграмма аэродинамического мультиплицирования

Остальная мощность ветра, пропорциональная величине $(1 - Cp_1)$, уносится безвозвратно. Она складывается из мощности затурбинного потока ΔP_{VB1} и мощности потерь $\Delta P_{пот1}$.

Мощность вторичного воздушного потока, вызванного вращением ветроколеса, определяется как поток кинетической энергии воздушной массы в системе координат, связанной с вращающейся ветротурбиной:

$$P_{VB2} = \frac{\rho \cdot S_{БК2} \cdot V_{B2}^3}{2}, \quad (3)$$

где $S_{БК2}$ – площадь, ометаемая вторичными ветротурбинами;

V_{B2} – скорость вторичного воздушного потока.

При этом скорость вторичного воздушного потока определяется угловой скоростью вращения вала ветроколеса ω_1 и радиусом закрепления гондолы $R_{гон}$:

$$V_{B2} = R_{гон} \cdot \omega_1. \quad (4)$$

Совокупная механическая мощность на валу ветротурбин определяется из выражения:

$$P_{M2} = P_{VB2} \cdot Cp_2, \quad (5)$$

где Cp_2 – коэффициент преобразования мощности воздушного потока вторичной турбиной.

Как видно из диаграммы (рис. 2), часть мощности вторичного воздушного потока определяется из выражения:

$$\Delta P_{VB2} = P_{VB2} \cdot (1 - Cp_2) - \Delta P_{пот2}. \quad (6)$$

Она не подвергается преобразованию и остается в системе. Другая часть $\Delta P_{пот2}$ относится к потерям.

Для формального представления результирующего коэффициента преобразования системы введем коэффициент потерь $K_{пот2}$, характеризующий потери $\Delta P_{пот2}$ как долю мощности вторичного воздушного потока:

$$K_{пот2} = \frac{\Delta P_{пот2}}{P_{VB2}}. \quad (7)$$

Причем из физических соображений должно выполняться условие:

$$K_{пот2} + Cp_2 \leq 1. \quad (8)$$

Суммарный коэффициент передачи мощности определяется как отношение мощности на валу генератора к мощности ветрового потока:

$$K_{sum} = \frac{P_{M2}}{P_{VB1}}. \quad (9)$$

Как видно из диаграммы, механическая мощность на валу вторичной ветротурбины равна разности механической мощности на валу ветроколеса и мощности потерь:

$$P_{M2} = P_{M1} - \Delta P_{ПOT2}. \quad (10)$$

Выразив $\Delta P_{ПOT2}$ из (7) и P_{VB2} из (5), с учетом (2) и (10), после преобразования может быть получено выражение для определения суммарного коэффициента преобразования системы:

$$K_{sum} = \frac{Cp_1}{\left(1 + \frac{K_{ПOT2}}{Cp_2}\right)}. \quad (11)$$

С помощью выражения (11) рассмотрим влияние коэффициента потерь на результирующий коэффициент передачи системы при $Cp_1 = 0,48$ и $Cp_2 = 0,48$ (рис. 3).

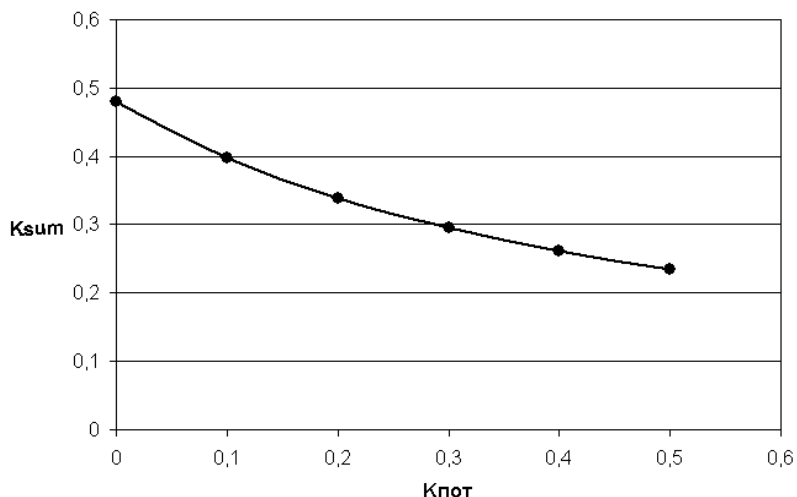


Рис. 3. Зависимость результирующего коэффициента преобразования мощности системы от коэффициента потерь (при $Cp_1 = 0,48$, $Cp_2 = 0,48$)

Как следует из условия (8), коэффициент $K_{ПOT2}$ может принимать значения от 0 до $(1 - Cp_1)$. При достижении $K_{ПOT2}$ своего предельного значения, соответствующего ситуации, когда вся мощность потока, не преобразованная вторичной ветротурбиной, превращается в потери, результирующий коэффициент преобразования K_{sum} рассчитывается как произведение коэффициентов преобразования первичной и вторичной ветротурбин:

$$K_{sum}(K_{ПOT2}^{max}) = Cp_1 \cdot Cp_2. \quad (12)$$

Для оценки величины $K_{ПOT2}$ при допущении про идеальность преобразования ветротурбиной мощности воздушного потока (отсутствие потерь на турбулизацию и трение о воздух) можно воспользоваться выражением коэффициента мощности, уносимой затурбинным воздухом, полученным в [2]:

$$K_{ПOT2} \approx (1 - \sqrt{1 - Cp_2})^2. \quad (13)$$

Для этого подставим выражение (13) в (11) для значений $Cp_1 = 0,48$, $Cp_2 = 0,48$:

$$K_{sum} \approx \frac{Cp_1}{\left(1 + \frac{(1 - \sqrt{1 - Cp_2})^2}{Cp_2}\right)} = \frac{0,48}{\left(1 + \frac{(1 - \sqrt{1 - 0,48})^2}{0,48}\right)} = 0,41. \quad (14)$$

Выводы

1. В результате анализа диаграммы преобразования мощности в системе с аэродинамическим мультиплицированием установлено, что для общего коэффициента преобразования важно соотношение коэффициента потерь и коэффициента преобразования вторичного воздушного потока.

2. При равенстве нулю коэффициента потерь $K_{пот2}$ коэффициент мощности вторичной аэромеханической системы вообще не влияет на результирующий коэффициент преобразования, а его значение определяется только коэффициентом преобразования мощности первичной аэромеханической системы.

3. Полученное выражение для суммарного коэффициента преобразования подтверждает утверждение, приведенное в [1], о некорректности определения коэффициента преобразования системы с аэродинамическим мультиплицированием как произведения коэффициентов преобразования мощности воздушного потока вторичной и первичной аэромеханических систем.

Список использованных источников

1. Голубенко Н. С. Аэродинамические особенности безмультипликаторной турбогенераторной схемы ветроэлектрической установки большой мощности / Н. С. Голубенко // Материалы IV Международной конференции «Нетрадиционная энергетика в XXI веке». – Гурзуф, 2003. – С. 125–132.

2. Алексеевский Д. Г. Анализ поведения электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием с учетом потерь / Д. Г. Алексеевский, А. А. Бурова, С. А. Кулаков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 18 (991). – С. 61–65. – Бібліогр. : 2 назв.

УДК 621.316:62-8:004.9

С.А. Іванець, канд. техн. наук

О.В. Красножон, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В СИСТЕМАХ ВІДСТЕЖЕННЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

С.А. Иванец, канд. техн. наук

А.В. Красножон, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМАХ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Serhii Ivanets, PhD in Technical Sciences

Oleksii Krasnozhon, PhD student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

THE USING OF FUZZY LOGIC FOR DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAIC MAXIMUM POWER POINT TRACKING SYSTEMS

Розглянуто підхід з використанням апарату нечіткої логіки для вирішення проблем, що виникають при побудові системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів. Запропоновано та обґрунтовано вибір необхідної кількості лінгвістичних змінних для нечіткого пристрою управління, вибір кількості і

параметрів функцій приналежності для кожної лінгвістичної змінної, використання нечітких правил у вигляді, запропонованому вченими Такагі і Сугено.

Ключові слова: фотоелектричний перетворювач, точка максимальної потужності, лінгвістична змінна, функція приналежності, нечітке правило, зворотний зв'язок, DC/DC-інвертор, Matlab.

Рассмотрен подход с использованием аппарата нечёткой логики для решения проблем, возникающих при построении систем отслеживания точки максимальной мощности фотоэлектрических преобразователей. Предложен и обоснован выбор необходимого количества лингвистических переменных для нечёткого устройства управления, выбор количества и параметров функций принадлежности для каждой лингвистической переменной, использование нечётких правил в виде, предложенном учёными Такаги и Сугено.

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, точка максимальной мощности, лингвистическая переменная, функция принадлежности, нечёткое правило, обратная связь, DC/DC-инвертор, Matlab.

The approach of using the fuzzy logic appliance for solving problems, that arise during the construction of the photovoltaic maximum power point tracking system was examined. The choice of the absolutely indispensable quantity of the variable linguistic for the indistinct operation mechanism and quantity and membership function parameters selection for each variable linguistic using the indistinct rules in form suggested by scientists Takagi and Sugeno were offered and well substantiated.

Key words: photovoltaic, maximum power point, linguistic variable, membership function, fuzzy rule, feedback, DC/DC-inverter, Matlab.

Вступ. Останнім часом в енергетичній галузі України значно зростає попит на використання фотоелектричних перетворювачів. Такий підхід є виправданим за умов використання їх для забезпечення енергетичних потреб малопотужних споживачів. До того ж такий спосіб генерації електричної енергії значно менше забруднює довкілля [1]. Як відомо, найголовнішими недоліками в роботі фотоелектричних перетворювачів є істотно низький коефіцієнт корисної дії (не більше 19 % поглиненої сонячної енергії може бути перетворено в електричну) та висока чутливість до зміни факторів навколишнього середовища.

Усі зазначені недоліки обумовлені тим, що як фотоелектричний перетворювач використовується напівпровідник, властивості якого істотно залежать від температури й освітленості (густини потужності падаючого сонячного випромінювання). Із аналізу вольт-амперної характеристики типового фотоелектричного перетворювача можна зробити висновок, що за умови постійної густини потужності сонячного випромінювання існує певна точка, в якій фотоелектричний перетворювач може генерувати максимальну електричну потужність. Точка максимальної потужності визначається за величиною навантаження, що підключено до вихідних клем фотоелектричного перетворювача. Оскільки неможливо постійно забезпечувати стабільну освітленість сонячного випромінювання, тому для дотримання фотоелектричного перетворювача в такій точці необхідно постійно регулювати величину опору навантаження. Саме з цією метою створюється система управління фотоелектричним перетворювачем, більш відома як система відстеження точки максимальної потужності (в іноземній літературі такі системи отримали назву MPPT – Maximum Power Point Tracker).

Аналіз наявних методів побудови систем відстеження точки максимальної потужності. Ідея використання напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів енергії не є новою, вона з'явилася ще на початку 70-х років XX століття. Однак найбільш активно методи побудови систем відстеження точки максимальної потужності розвиваються в останні 10–15 років [2]. Найпоширеніші методи побудови таких систем можна об'єднати в такі групи: методи, що ґрунтуються на зворотному зв'язку за напругою; методи, що ґрунтуються на зворотному зв'язку за струмом; методи, що ґрунтуються на спостереженнях за коливаннями потужності. Розглянемо більш детально кожен із груп методів [3].

Суттю методів, що ґрунтуються на зворотному зв'язку за напругою, є порівняння величин робочої напруги фотоелектричного перетворювача (напруги на його вихідних клеммах) з величиною опорної напруги. На основі знака та модуля отриманої різниці напруг робиться висновок про те, яким чином слід змінювати величину опору навантаження перетворювача.

Як відомо, фотоелектричний перетворювач є джерелом постійної напруги, однак він може забезпечувати живлення як для навантаження, що споживає постійний струм, так і для навантаження по змінному струму. Тому між вихідними клемами фотоелектричного перетворювача та навантаженням необхідно встановлювати пристрій перетворення електричної енергії – DC/AC-перетворювач, або DC/DC-перетворювач. Кожний з таких пристроїв забезпечує регулювання величини напруги, а в деяких випадках – ще й її форми.

Отже, у випадку, якщо навантаження працює на постійному струмі, регулювання величини його опору може здійснюватись за рахунок DC/DC-перетворювача. Оскільки величина напруги на його виході формується за допомогою ШІМ (широтно-імпульсної модуляції), то отриману різницю напруг можна перетворити у необхідні параметри ШІМ.

Група методів, що ґрунтуються на зворотному зв'язку за струмом, багато в чому схожа на попередньо розглянуті методи. Вони також включають у себе порівняння величин струму короткого замикання перетворювача з величиною вихідного струму.

Як відомо, струм короткого замикання – це максимально можливий струм, що може генеруватись фотоелектричний перетворювач за умови короткого замикання його вихідних клем. Очевидно, що він є чітко визначеним для кожного значення густини потужності падаючого сонячного випромінювання. Тому внаслідок порівняння величин струмів можна зробити висновок, наскільки оптимальним за величиною струму є поточний режим роботи фотоелектричного перетворювача. Корегування режиму роботи також може здійснюватись за допомогою параметрів ШІМ DC/DC-перетворювача.

Методи, що ґрунтуються на спостереженнях за коливаннями потужності, є найбільш точними, але й найбільш складними. Їх суть полягає в постійному спостереженні за коливаннями вихідних величин напруги та струму фотоелектричного перетворювача (оскільки потужність перетворювача є добутком цих величин), причому ці коливання провокуються самим керуючим пристроєм.

Всі ці методи є ітераційними: на кожному кроці коливання напруги та струму проковується таким чином, щоб вихідна потужність перетворювача збільшувалась, після цього вимірюється значення вихідної потужності і порівнюється зі значенням, отриманим на попередньому кроці. В такому разі точкою генерації максимальної потужності буде така, в якій значення потужності починає зменшуватись порівняно із попереднім значенням. Величина, на яку збільшується коливання потужності на кожному кроці, є невеликою за модулем.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що характерною рисою всіх зазначених методів є необхідність вимірювання однієї чи декількох вихідних величин фотоелектричного перетворювача з метою подальшого регулювання режиму генерації електричної енергії. Саме ж регулювання потужності відбувається через підбір оптимального опору навантаження при заданій густині потужності сонячного випромінювання і температурі перетворювача.

Мета статті. Аналіз наведених вище методів побудови систем відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача вказує на те, що їх використання в енергетичній галузі є дуже важливим. Крім того, на сьогодні в деяких провідних країнах (США, Швеція, Італія) активно запроваджуються фотоелектричні мініелектростанції [4; 5]. Вони дозволяють істотно заощадити кошти пересічних споживачів, наприклад, завдяки скороченню обсягів споживання електричної енергії з основної мережі живлення. Широкої популярності також набувають елементи живлення (зарядні пристрої), побудовані на основі фотоелектричних перетворювачів.

Водночас, для цієї задачі можливо застосувати математичний апарат нечіткої логіки, ефективність використання якого для побудови систем управління була неоднора-

зово доведена на практиці, тому доцільним буде розглянути можливість використання апарату нечіткої логіки для задачі пошуку точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача.

Отже, метою цієї статті є розглянути підхід з використанням математичного апарату нечіткої логіки для вирішення основних проблем, що виникають під час побудови системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача.

Виклад основного матеріалу. Складовим елементом будь-якого фотоелектричного перетворювача є фотоелектричний модуль, який є джерелом напруги, а не струму, тому доцільним буде розглянути її вольт-амперну характеристику. Залежність вихідної напруги від струму можна представити у вигляді:

$$V_{PV} = \frac{A \cdot k \cdot T_C}{e} \cdot \ln \left(\frac{I_{PH} + I_0 - I_{PV}}{I_0} \right) - I_{PV} \cdot R_S, \quad (1)$$

де I_{PH} – величина струму, що генерується фотоелектричним модулем під впливом сонячного випромінювання при певній температурі;

e – стала заряду електрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл);

k – стала Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

T_C – робоча температура модуля;

R_S – величина послідовного опору модуля;

I_{PV} – вихідний струм модуля;

I_0 – зворотний струм насичення напівпровідникового переходу;

A – коефіцієнт ідеалізації, який показує, наскільки обчислені за формулою (1) значення напруг та струмів модуля відповідають реально виміряним.

Легко бачити, що залежність (1) має певні обмеження: для обчислення вихідної напруги фотоелектричного модуля застосовується натуральний логарифм. Вираз, що стоїть під знаком натурального логарифма, може набувати від'ємне значення у випадку, якщо $I_{PH} + I_0 - I_{PV} < 0$, робота моделі при цьому стає некоректною, оскільки значення логарифма стане комплексним числом, а не дійсним. Тобто струм I_{PV} , якого потребує навантаження, не може перевищувати величину генерованого фотоелектричного струму. Фактично це означає, що фотоелектричний модуль може генерувати скінчений вихідний струм, тобто максимальний струм фотоелектричного модуля приблизно дорівнює величині фотоелектричного струму. Графічне зображення залежності (1) за умов, що густина потужності падаючого сонячного випромінювання є постійною, представлено нижче на рис. 1.

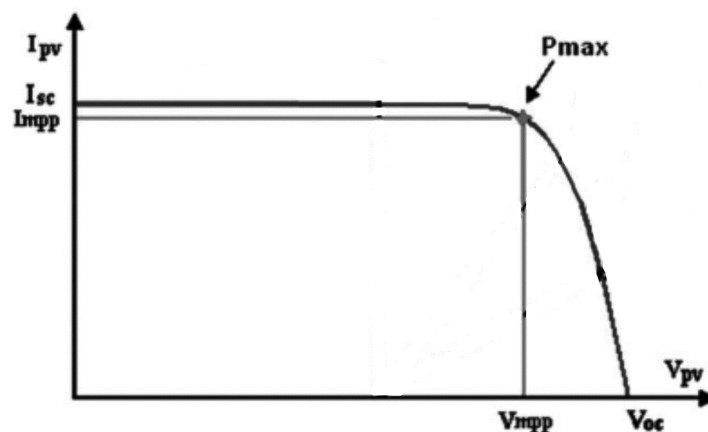


Рис. 1. Вольт-амперна характеристика фотоелектричного модуля

З рис. 1 видно, що у разі, якщо вихідні клеми фотоелектричного перетворювача з'єднати накоротко, він буде генерувати максимальний вихідний струм – струм короткого замикання (I_{SC}), якщо ж залишити їх розімкненими, перетворювач буде генерувати максимальну вихідну напругу – напругу холостого ходу (V_{OC}). Внаслідок прояву певних властивостей напівпровідника зростання вихідної напруги до певної межі не призводить до істотного зниження вихідного струму. Отже, точка максимальної потужності – це така точка, в якій швидкість спадання вихідного струму ще залишається відносно малою.

Залежність координат точки максимальної потужності від густини потужності падаючого сонячного випромінювання за умови сталої робочої температури для будь-якого фотоелектричного перетворювача має типовий вигляд, її зображено нижче, на рис. 2. З рис. 2 очевидно, що у разі зменшення освітленості падаючого сонячного випромінювання спостерігається незначне зменшення напруги для точки максимальної потужності.

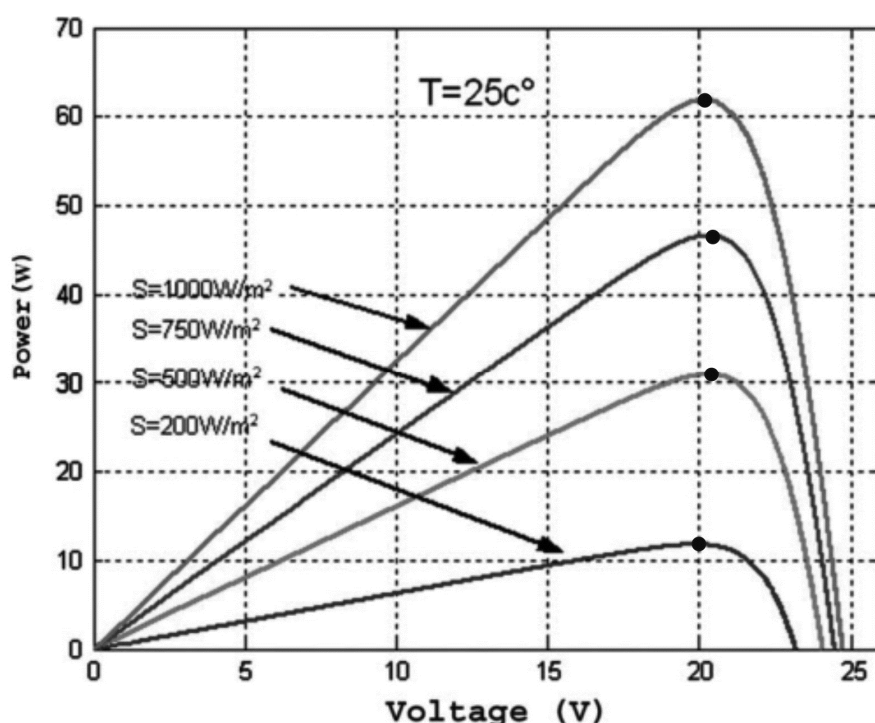


Рис. 2. Залежність положення точки максимальної потужності від густини потужності падаючого сонячного випромінювання

Однак незалежно від того, за якою з фізичних величин (вихідна напруга, струм або потужність) відбувається пошук точки максимальної потужності, треба однозначно враховувати динаміку роботи фотоелектричного перетворювача: з якою швидкістю та в якому напрямку відбувається зміна вихідної величини, що відстежується [6].

Оскільки нині існує велика кількість фотоелектричних перетворювачів, що мають схожі характеристики, але генерують різну потужність, процес розроблення та налаштування системи відстеження точки максимальної потужності можна істотно спростити та формалізувати. Для вирішення такої задачі можна використовувати математичний апарат нечіткої логіки, оскільки саме він дозволяє описати багатозначні та неточні процеси [6; 8].

Перш за все слід визначити необхідну кількість вхідних та вихідних лінгвістичних змінних для керуючого пристрою системи відстеження точки максимальної потужності. Як приклад, розглянемо використання апарату нечіткої логіки для системи, що реалізується за методом зворотного зв'язку за напругою.

Першій лінгвістичній змінній, що має відображати різницю між поточним рівнем вихідної напруги фотоелектричного перетворювача та опорним значенням напруги, дамо назву “відхилення напруги”, а другій змінній, що буде відображати швидкість зміни вихідної напруги, – “швидкість напруги”. Вихідну лінгвістичну змінну назвемо “рівень напруги”. Для кожної із зазначених лінгвістичних змінних слід визначити діапазон значень, які вона може набувати.

Очевидно, що в найгірших випадках роботи фотоелектричного перетворювача, різниця опорного і поточного значень напруги на виході фотоелектричного перетворювача за абсолютною величиною не може перевищувати значення напруги холостого ходу (V_{OC}), але може мати різний знак. Отже, діапазон значень першої лінгвістичної змінної можна визначити як $[-V_{OC}; +V_{OC}]$.

Діапазон значень лінгвістичної змінної “швидкість напруги” може бути визначений експериментальним шляхом, попередньо проаналізувавши технічні характеристики конкретного фотоелектричного перетворювача. При цьому особливо слід враховувати частоту, з якою відбувається оновлення результатів вимірювання значення вихідної напруги.

Як зазначалося вище, вихідна напруга фотоелектричного перетворювача не може бути від’ємною, також вона не перевищує величини напруги холостого ходу (V_{OC}). Тобто діапазон значень вихідної лінгвістичної змінної можна визначити як $[0; +V_{OC}]$. Насправді ж, цей діапазон може бути істотно зменшений, оскільки вихідна напруга фотоелектричного перетворювача, що працює в нормальному робочому режимі, не може досягати 0 В, як видно з рис. 2.

На наступному кроці необхідно обрати кількість та форму нечітких функцій приналежності, з яких складається кожна лінгвістична змінна. Вибір форми та кількості таких функцій слід виконувати з урахуванням таких вимог:

- усі функції приналежності, незалежно від форми, повинні мати приблизно однакову ширину;
- усі функції приналежності мають повністю охоплювати діапазон значень лінгвістичної змінної;
- діапазони значень двох сусідніх функцій приналежності мають перекриватися хоча б на третину.

Як зазначається в багатьох літературних джерелах, типовою кількістю таких функцій для однієї лінгвістичної змінної є п’ять [6]. У разі зменшення кількості функцій приналежності, точність отримання вихідного результату може істотно зменшуватися, що відбувається внаслідок погіршення роздільної здатності регулюючого пристрою (тобто однакова зміна величини напруги на виході пристрою регулювання відбувається при більшому значенні вхідних параметрів). Збільшення ж кількості функцій призводить до зростання кількості нечітких правил, за якими буде обчислюватися вихідний результат, що сповільнить роботу регулюючого пристрою. Так, наприклад, повністю визначена таблиця нечітких правил для регулюючого пристрою, що має 2 вхідні лінгвістичні змінні, для кожної з яких визначено по 5 нечітких функцій приналежності, повинна мати 25 нечітких правил, якщо ж обрати по 6 нечітких функцій – 36 правил, а якщо по 7 – 49.

Як відомо, існує 5 класів нечітких функцій приналежності – s , π , γ , t , L [5]. Найбільш поширеними для використання у системах управління є 3 останні класи функцій.

На наступному кроці необхідно запропонувати таблицю нечітких правил. Вона має складатися на основі аналізу поведінки фотоелектричного перетворювача. З метою підвищення точності прогнозування отримання вихідної величини нечітким пристроєм регулювання, ця таблиця має бути повною, тобто в ній мають бути визначено всі правила.

Також вона не може містити правила, зміст яких суперечить одне одному. Кожне нечітке правило складається з двох частин: частини IF, яка ще називається посилкою, та THEN – висновку. В загальному вигляді нечітке правило можна представити так:

$$IF(x_1 \in A_1^{(k)} \text{ AND } x_2 \in A_2^{(k)}) THEN (y_1 \in B_1^{(k)} \text{ AND } y_2 \in B_2^{(k)}), \quad (2)$$

де x_i – вхідні лінгвістичні змінні пристрою керування;

y_i – вихідні лінгвістичні змінні пристрою керування;

$A_i^{(k)}, B_i^{(k)}$ – відповідні нечіткі множини;

$k = 1, \dots, N$ – номер нечіткого правила.

Однак, як доводить практика використання математичного апарату нечіткої логіки у системах управління, нечітке правило виду (2) малопридатне для використання, оскільки обидві його частини носять нечіткий характер [6]. Тому набагато доцільнішим буде використання правил такого виду:

$$IF(x_1 \in A_1^{(k)} \text{ AND } x_2 \in A_2^{(k)}) THEN (y_1 = f^{(k)}(x_1, x_2)), \quad (3)$$

де x_i – вхідні лінгвістичні змінні пристрою керування;

y_i – вихідні лінгвістичні змінні пристрою керування;

$A_i^{(k)}$ – відповідна нечітка множина;

$k = 1, \dots, N$ – номер нечіткого правила.

Цей вид правил був запропонований ученими Такагі і Сугено. Як бачимо, таке правило носить нечіткий характер лише у частині посилки, а в частині висновку воно містить деяку функціональну залежність. Ще однією перевагою є те, що при подачі на входи нечіткого пристрою керування сигналів, які можна інтерпретувати як вектор станів об'єкта управління, то вихідний сигнал буде обраховуватися як нормалізована зважена сума окремих виходів за формулою:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N w^k \bar{y}^k}{\sum_{k=1}^N w^k}, \quad (4)$$

де w^k – ширина відповідної нечіткої множини;

$\bar{y}^k$ – номеру виходу.

У разі, якщо всі зазначені вище кроки з розроблення нечіткої системи відстеження точки максимальної потужності виконуються людиною, що не є експертом у цій предметній галузі, очікувати на високі показники точності та швидкодії системи не варто. В такому випадку можливо декілька варіантів:

– підібрати інші класи та параметри функцій приналежності для усіх заданих лінгвістичних змінних системи;

– запропонувати інший склад таблиці нечітких правил за умов незмінності якісного складу лінгвістичних змінних;

– використати один з можливих підходів для налаштування параметрів нечітких функцій приналежності – штучні нейронні мережі або генетичні алгоритми.

У свою чергу, виконання етапів вибору та налаштування функцій приналежності лінгвістичних змінних, складання таблиці нечітких правил може бути істотно прискорено за рахунок використання наявних спеціалізованих програмних пакетів: Matlab (інструментарій – Fuzzy Logic Toolbox, Neural Network Toolbox, Global Optimization Toolbox), Flex Tool, а також Evolver [6; 9].

Висновки. У цій статті було розглянуто основні етапи використання математичного апарату нечіткої логіки для побудови системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача на прикладі методів, заснованих на зворотному зв'язку за напругою. Запропоновано та обґрунтовано:

- вибір необхідної кількості вхідних та вихідних лінгвістичних змінних для нечіткого пристрою управління;
- вибір кількості і параметрів нечітких функцій приналежності для кожної лінгвістичної змінної;
- використання нечітких правил модуля керування у вигляді, запропонованому вченими Такагі і Сугено;
- можливі шляхи для налаштування нечіткого пристрою управління у випадку, якщо точність отримання його вихідних результатів не задовольняє заданим вимогам.

Список використаних джерел

1. Іванець С. А. Розвиток електроенергетики на основі концепції “інтелектуальних” електричних мереж Smart Grid / С. А. Іванець, О. В. Красножон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”. – 2013. – № 1(63). – С. 167–178.
2. News and analysis for the modernization and automation of electric power [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.smartgridnews.com>.
3. Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system / C. Larbes, S. M. Cheikh, T. Obeidi, A. Zerguerras // Renewable Energy. – 2009. – № 34. – Р. 2093–2100.
4. Кобец Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. – М. : ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
5. 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.
6. 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.
7. Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK / Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, Yi-Jie Su // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. – 2008, October 22–24. – 6 p.
8. Altas, I. H., Sharaf, A. M. A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment. – Р. 341–345.
9. Моделирование электротехнических устройств в MATALB. SimPowerSystems и Simulink. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 288 с., ил.

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 677.31/.35

І.О. Дудла, д-р техн. наук

О.М. Соболев, асистент

А.М. Яковенко, старш. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ СПОЖИВЧИХ ВИМОГ ДО ВОВНЯНИХ ТКАНИН

И.А. Дудла, д-р техн. наук

О.Н. Соболев, ассистент

А.Н. Яковенко, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АНАЛИЗ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ШЕРСТЯНЫМ ТКАНЯМ

Iraida Dudla, Doctor of Technical Sciences

Olha Sobol, assistant

Alla Yakovenko, senior teacher

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

ANALYSIS OF CONSUMER DEMANDS FOR WOOLEN CLOTH

Проведено опитування 100 мешканок м. Чернігова з метою визначення їх споживчих переваг при купівлі вовняних пальтових тканин та виробів з них. Опитування проводилося методом інтерв'ювання. Запитання охоплювали як соціальний статус, рівень доходів респондентів, так і стосувалися ступеня потреби у нових вовняних пальтових тканинах, причин припинення користування цими виробами, вирішальних факторів при купівлі цих товарів, важливості країни-виробника, торгової марки, волокнистого складу, ставлення до рівня ціни на ці товари в роздрібній мережі м. Чернігова тощо. Відповіді проаналізовано.

Ключові слова: анкетування, вовняні пальтові тканини, споживні властивості.

Проведен опрос 100 жительниц г. Чернигова с целью определения их потребительских предпочтений при покупке шерстяных пальтовых тканей и изделий из них. Опрос проводился методом интервьюирования. Вопросы охватывали как социальный статус, уровень доходов респондентов, так и касались степени потребности в новых шерстяных пальтовых тканях, причины прекращения использования этих изделий, важности страны-производителя, торговой марки, волокнистого состава, отношения к уровню цен на эти товары в розничной сети г. Чернигова. Ответы проанализированы.

Ключевые слова: анкетирование, шерстяные пальтовые ткани, потребительские свойства.

A survey of 100 residents who live in Chernihiv have been conducted, to determine their consumable advantages when buying woolen coat fabrics and articles. The survey was conducted by interviewing a verbal conversation. Questions covered as social status, income respondents, and related degree need new woolen coat fabrics, reasons stop using these products, the deciding factors when purchasing these products, the importance of the country of manufacture, trademark, fiber composition, related to the level of prices these products retail Chernihiv and more. Answers analyzed.

Key words: questionnaire, woolen cloth coat, consumer properties.

Постановка проблеми. Сучасний ринок вовняних пальтових тканин та виробів з них перенасичений імпортною продукцією, зокрема виробництва Китаю. Вітчизняні підприємства мають потужності для задоволення потреб співвітчизників у цих тканинах і виробах з них, але, на жаль, відбувається це в малому обсязі. З метою якомога кращого задоволення потреб споживачів у вовняних пальтових тканинах, надзвичайно важливим для виробників та дослідників є аналіз споживчих вимог до цих товарів. Це дозволить удосконалити асортимент продукції, що випускається, звернути увагу на головні та другорядні фактори для споживачів, задовольнити їх.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняні та іноземні науковці багато уваги приділили дослідженням споживчих переваг товарів та методикам їх оцінювання. Роботи цих авторів є підґрунтям та науково-теоретичною основою для подальших досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Споживчі переваги щодо тих чи інших товарів не є сталою величиною, ці дослідження потребують постійного повторення та оновлення, бо змінюються як асортимент товарів, структура споживачів, їх смаки, так і соціальна, економічна, політична ситуація у країні, що значно впливає на переваги споживачів.

Мета статті. Головною метою статті є аналіз споживчих вимог мешканців м. Чернігова до властивостей вовняних пальтових тканин, які є для них важливими й актуальними, що дозволить зробити висновки і продовжувати роботу щодо удосконалення асортименту цих тканин ще на етапі їх розроблення.

Виклад основного матеріалу. Аналіз вимог споживачів щодо властивостей вовняних пальтових тканин проводився методом опитування (індивідуальні та групові інтерв'ю) в особистій бесіді з респондентами, що мешкають у м. Чернігові. Для реалізації цього завдання нами були розроблені анкети для споживачів з питаннями, результати відповіді на які здатні допомогти у подальших дослідженнях. З метою полегшення процесу опитування для респондентів більшість запитань були сформовані чітко та мали визначені варіанти відповіді або шкалу оцінок, згідно з якою опитувані мали розставити в порядку ранжування ті чи інші показники. У кінці анкети був розміщений невеликий блок запитань особистого характеру для більшого розуміння цільової аудиторії товару та її прихильностей.

В опитуванні взяло участь 100 осіб віком від 18 до 74 років (всі вони жіночої статі, адже тканини, що є предметом нашого дослідження, призначені для пошиття жіночих пальт). Серед опитаних 6 осіб не мали досвіду у використанні вовняних пальтових тканин, цими респондентами були особи віком від 18 до 25 років і не мали такого досвіду через те, що обирають для себе інший стиль в одязі, інші матеріали для його виготовлення. Респонденти, що взяли участь в основному анкетуванні, за віком, рівнем доходів та освітою розподілилися таким чином (рис. 1–3).

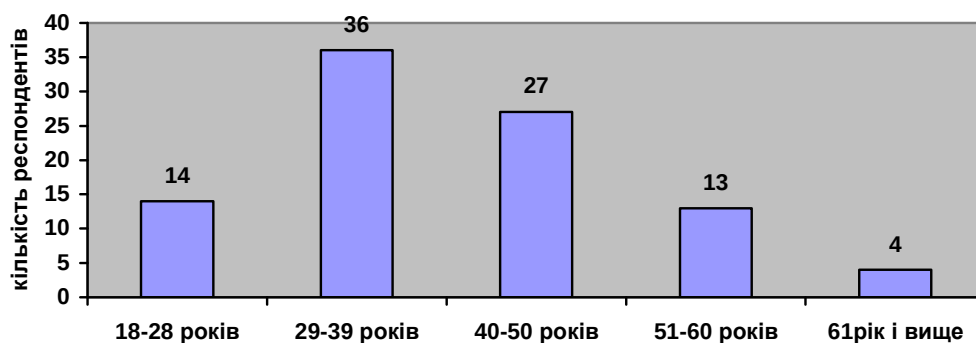


Рис. 1. Розподіл респондентів за віком

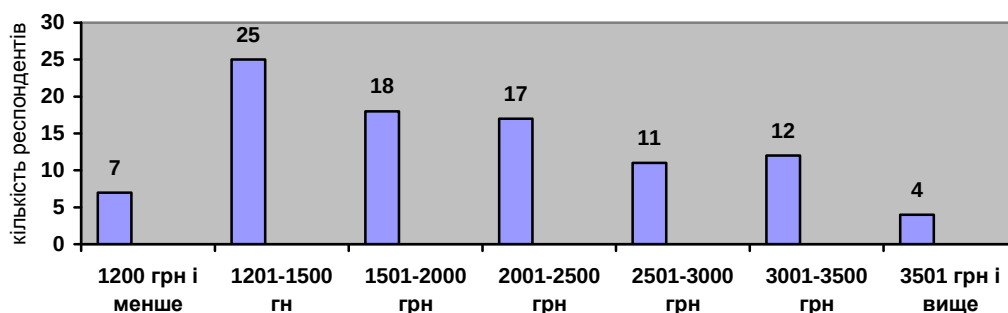


Рис. 2. Розподіл респондентів за рівнем доходів на 1 члена родини

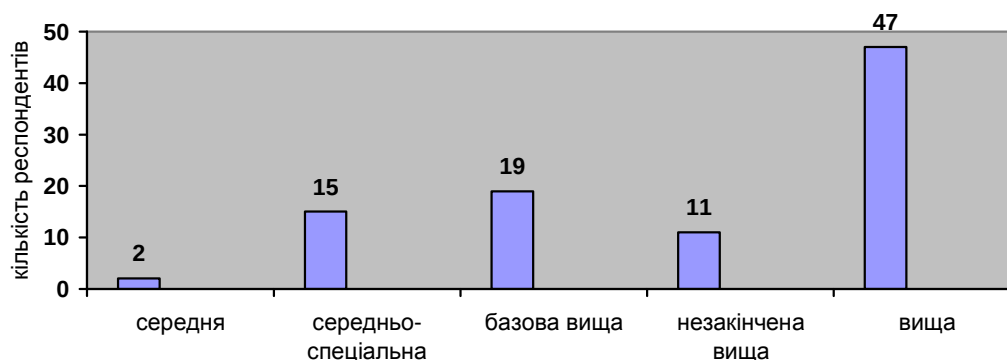


Рис. 3. Розподіл респондентів за рівнем освіти

З рис. 1–3 можна побачити, що у відсотковому співвідношенні серед опитаних найбільше респондентів віком від 29 до 39 років (38,2 %), віком від 40 до 50 років – 28,8 %, майже однакова кількість відсотків респондентів віком від 51 до 60 років (13,8 %) та наймолодшого віку (18–28 років) – 14,9 %, найменша частка респондентів серед опитаних – це люди старшого віку (61 і вище років) – 4,3 %. Найбільше респондентів (27,7 %) мають середньомісячний дохід у перерахунку на одного члена родини від 1201 до 1500 грн, 19,1 % – мають рівень доходу від 1501 грн до 2000 грн, 18 % – від 2001 грн до 2500 грн. Середньомісячний дохід на одного члена родини в межах від 3001 грн до 3500 грн мають 12,8 % опитаних респондентів, майже така сама кількість респондентів (11,7 %) мають дохід від 2501 грн до 3000 грн на місяць. Найменша кількість респондентів має найнижчий середньомісячний дохід на 1 члена родини (менше ніж 1200 грн) – 7,4 % та найбільший з запропонованих варіантів відповіді (3501 грн та вище) – 4,3 % опитаних. Більшість опитаних (50 %) мають закінчену вищу освіту, 11,7 % мають незакінчену вищу освіту. Решта опитаних (2,1 %, 16 % та 20,2 % відповідно) мали середню, середньоспеціальну або базову вищу освіту.

Після обробки результатів основної частини опитування, на запитання «Як часто Ви маєте потребу у нових виробках з вовняних пальтових тканин?» були отримані такі дані: щороку або частіше мають потребу у виробках 9 респондентів (9,6 %), 1 раз на 2–3 роки 59 респондентів (62 %), 1 раз на 4–5 років мають потребу у вовняних пальтових тканинах 18 респондентів (19,1 %), рідше ніж 1 раз у 5 років 8 респондентів (8,5 %).

У табл. 1 розміщені дані щодо потреби респондентів у нових виробках з вовняних пальтових тканин.

Таблиця 1

Розподіл респондентів за ступенем потреби у нових виробках з вовняних пальтових тканин

Як часто Ви маєте потребу у виробках з вовняних пальтових тканин?	Вік респондентів					Усього
	18-28 років	29-39 років	40-50 років	51-60 років	61 рік та вище	
Щороку	3	2	2	2	-	9
1 раз на 2–3 роки	9	24	18	8	-	59
1 раз на 4–5 років	2	9	6	1	-	18
Рідше ніж 1 раз у 5 років	-	1	1	2	4	8
Всього	14	36	27	13	4	94

На запитання щодо важливості вмісту волокон натуральної вовни у тканині, відповіді опитаних розподілилися таким чином (рис. 4):

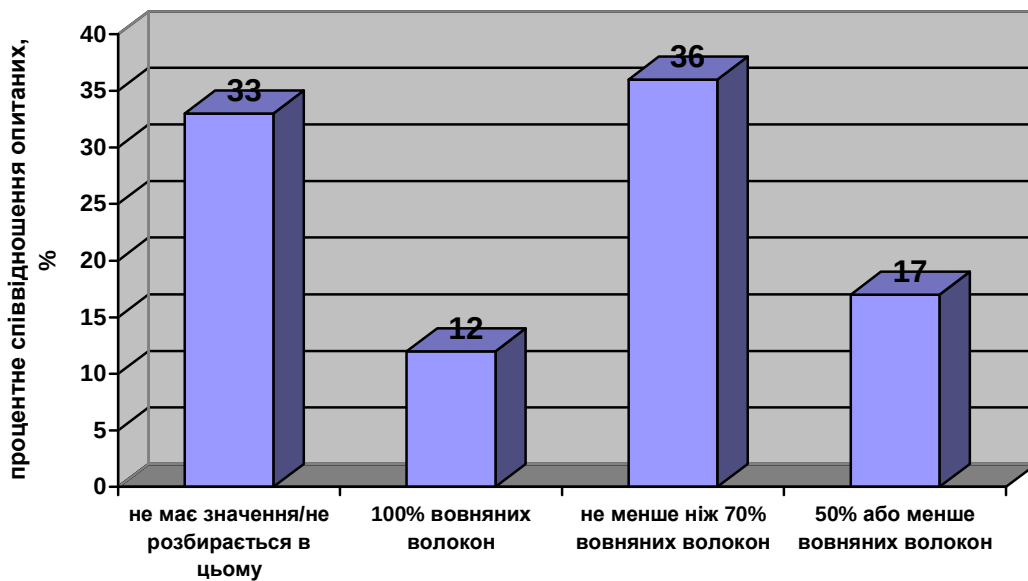


Рис. 4. Розподіл респондентів за ставленням до сировинної складової вовняних пальтових тканин

Як можна побачити, отримали такі результати: не має значення або споживач не розуміється на цьому – 33 %, бажали б мати виріб з вмістом не менш як 100 % вовни – 11,7 % опитаних, з вмістом не менш як 70 % вовняних волокон – 36 % опитаних, 50 % або менше вовняної сировини у вовняних пальтових тканинах бажали б бачити 17 % опитаних споживачів. У ході опитування та додаткових бесід нам вдалося відзначити невисокий рівень обізнаності споживачів щодо впливу сировини на споживні властивості тканин, про що свідчить відповідь приблизно третини опитаних. Споживачі, що обирали більший вміст вовняних волокон, здебільшого пояснювали свій вибір не досвідом носіння, а своїм загальним прагненням до натуральної сировини.

На запитання «З якої причини Ви зазвичай припиняєте користуватися виробом із вовняних пальтових тканин?», опитані проранжували запропоновані варіанти відповідей, у результаті були отримані такі результати (рис. 5):

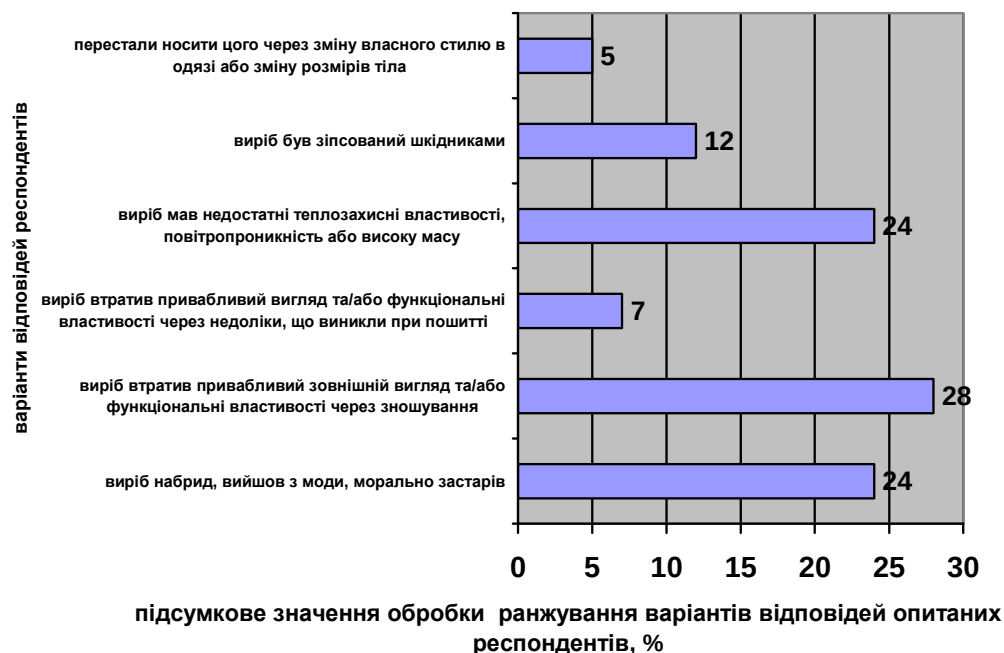


Рис. 5. Розподіл респондентів за відповідями щодо причин припинення користування виробами з вовняних пальтових тканин

Як можна побачити з рис. 5, головними причинами припинення користування виробами з вовняних пальтових тканин є «виріб втратив привабливий зовнішній вигляд та/або функціональні властивості через зношування» – 28 %. Причини «виріб вийшов з моди, морально застарів» та/або «виріб мав недостатні теплозахисні властивості, повітропроникність або високу масу» були актуальними у 24 % випадках. У 12 % випадків проблемою було пошкодження міллю, 7 % – це те, що виріб утратив функціональні властивості через недоліки, що виникли при пошитті. І причина, що зустрічалася найменше – це «перестали носити через зміну власного стилю в одязі або зміну розмірів тіла» (5 %). Отже, пошук методів підвищення зносостійкості вовняних пальтових тканин був і залишається актуальним. Досить високий процент припинення користування виробами з вовняних пальтових тканин через біопошкодження міллю свідчить про актуальність молевідштовхуючої обробки для таких тканин. Запропонувавши респондентам розставити фактори, що впливають на їх рішення про купівлю вовняної пальтової тканини або виробу з неї у випадку, якщо виріб підходить за параметрами тіла, в порядку ранжування, отримали такі результати (рис. 6).

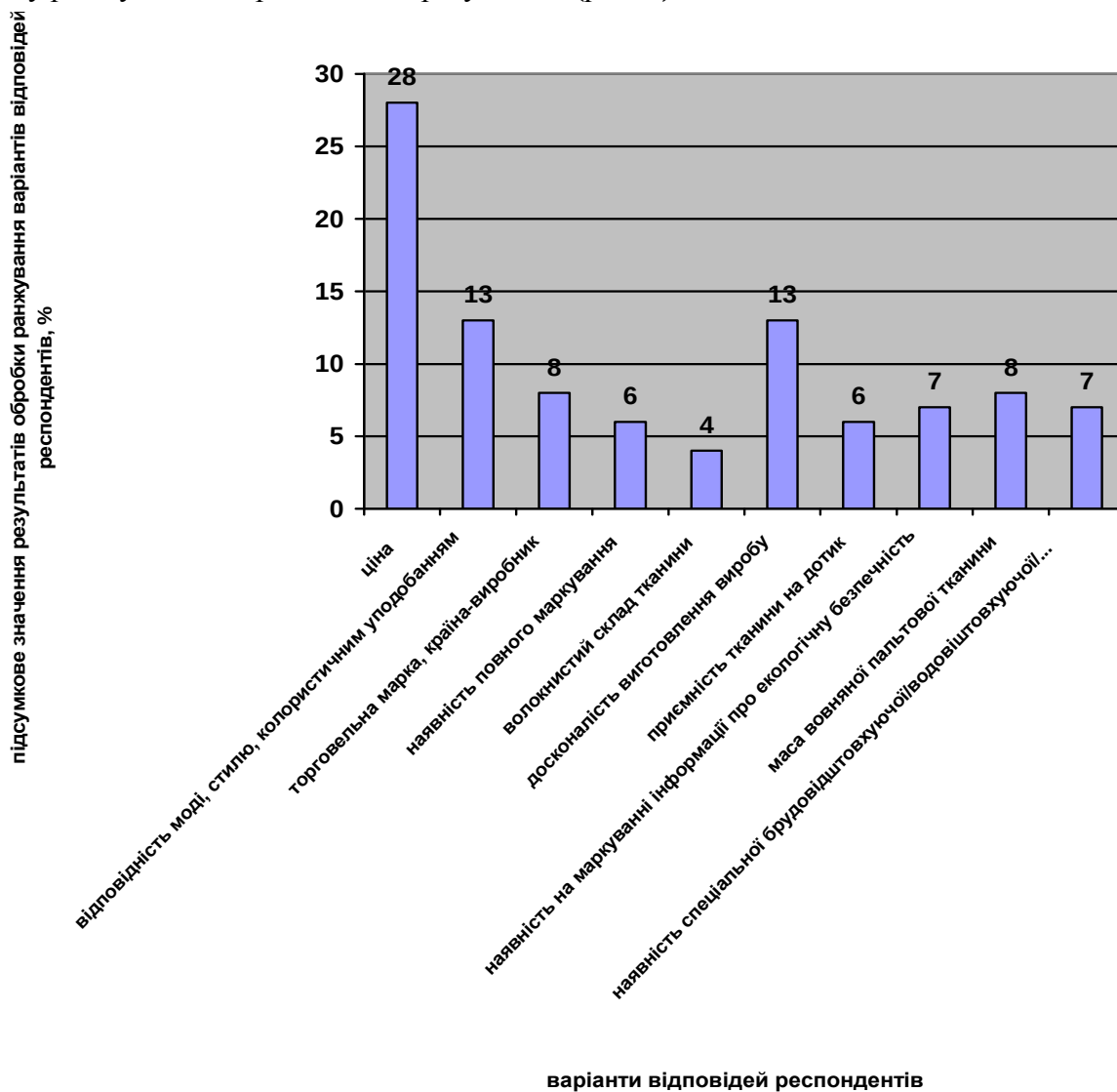


Рис. 6. Розподіл респондентів за результатами ранжування факторів, що впливають на рішення покупців про покупку вовняної пальтової тканини або виробу з такої тканини

Отже, найголовнішим фактором виявилась ціна (28 %), відповідність моді, стилю, колористичним уподобанням та досконалість виготовлення виробу (по 13 % відпід-

но), такі фактори, як маса вовняної тканини та торговельна марка, виробник виявилися на третьому місці при обробці результатів ранжування факторів (по 8 % відповідно), наявність на маркуванні інформації про екологічну безпечність та наявність на тканині спеціальної обробки виявилися факторами, важливими на 7 %, по 6 % респонденти оцінили фактор: наявність повного маркування та приємність тканини на дотик, найменш важливим фактором, на думку респондентів, з запропонованих виявився волокнистий склад тканини (4 %). Відповіді на це запитання ще раз підтверджують важливість ціни для респондентів. А оскільки цільова аудиторія – жінки, то передбачуваним виявилось те, що відповідність моді та стилю та досконалість виробничого виконання виявилися також такими, що мають велике значення для цільового споживача.

На запитання «Вовняним пальтовим тканинам якого виробництва Ви надаєте перевагу?» думки респондентів розподілилися таким чином (табл. 2).

Таблиця 2

Вподобання респондентів щодо виробника вовняних пальтових тканин

Виробник	Співвідношення респондентів, що обирають цього виробника, %	Причини вибору того чи іншого виробника, які найчастіше називали респонденти
Відомі світові бренди	10	– впевненість в якості; – статусність та відповідність моді; – завжди чітке маркування, інформація про склад, безпечність товару тощо
ЗАТ «КСК «Чексіл»	25	– старий, добре відомий місцевий виробник; – неодноразово купували його та впевнені у його якості; – дешевше, ніж тканини відомих брендів; – бажання підтримати виробника свого міста
Виробництва країн СНД	12	– більше довіри до колишнього вітчизняного виробника; – бажання підтримати колишнього вітчизняного виробника
Не має значення	47	– головне, щоб ціна влаштовувала; – головне, щоб якість влаштовувала

Як можна побачити, більшість респондентів (47 %) не віддають перевагу жодному з виробників, головне для них ціна та якість тканини. Високе значення цього показника, на жаль, вкотре підтверджує досить низьку платоспроможність громадян Чернігівщини та те, що ціновий фактор є дуже значимим для більшості мешканців. 25 % опитаних свідомо надають перевагу тканинам виробництва «Чексіл», бо впевнені в її якості та хочуть підтримати місцевого виробника. Майже однакова кількість опитаних (10 % та 12 %) свідомо віддає перевагу пальтовим тканинам відомих світових брендів та виробництва країн СНД. Перші пояснюють вибір впевненістю в якості, також важливими для них є мода та статус. Другі – це здебільшого люди, чия молодість пройшла в епоху СРСР, впевнені, що виробництво на підприємствах цих країн відбувається ще за стандартами СРСР, а значить, тканини якісні, ще одним фактором для них є деяка ностальгія за старими часами та бажання підтримати колишнього вітчизняного виробника.

Ще одним фактором, що свідчить про низьку купівельну спроможність мешканців міста, є відповіді респондентів на запитання «Якою, на вашу думку, є ціна на вовняні пальтові тканини у роздрібній мережі Чернігова?». Результати відповідей зображені на рис. 7.

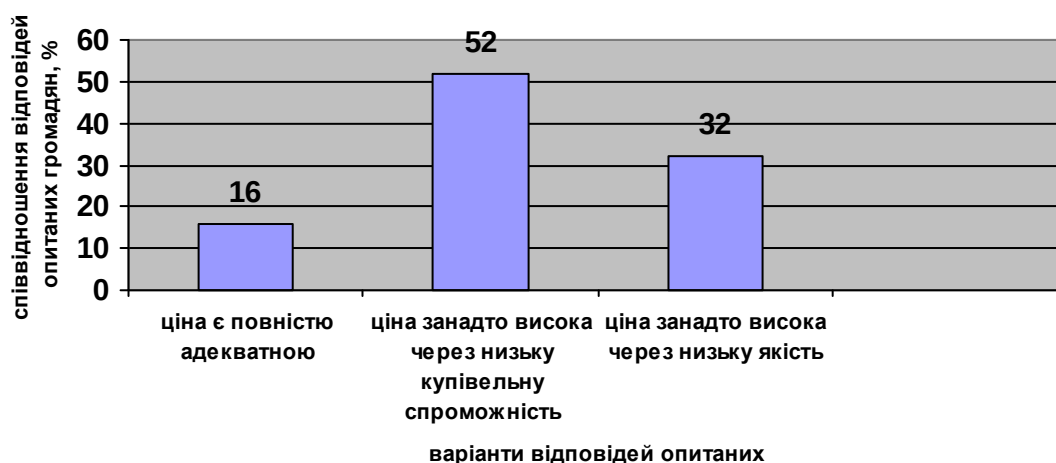


Рис. 7. Розподіл респондентів після відповіді на запитання: «Чи є, на вашу думку, ціна на вовняні пальтові тканини в роздрібній мережі м. Чернігова адекватною?»

Так, повністю адекватною ціну назвали 16 % опитаних, решта (84 %) вважають ціну занадто високою через свою низьку платоспроможність (52 %) та через низьку якість (32 %). Це ще раз підтверджує необхідність досліджень щодо пошуку шляхів зниження матеріалоемності тканин та підвищення їх якості.

Висновки і пропозиції. Підсумовуючи дослідження, можна відзначити, що більшість опитаних респондентів (27,7 %) має низький рівень доходу – 1201–1500 грн на 1 члена родини, що є приблизно таким, що дорівнює прожитковому мінімуму громадян, затвердженому на 2014 рік. Це відображається й у відповідях на інші запитання. Так, найголовнішим фактором рішення про купівлю вовняної пальтової тканини або виробу з неї є ціна (28 %), а для 47 % респондентів неважливим є фактор, хто є виробником тканини, здебільшого, через ціну. 84 % опитаних відзначили, що ціна на вовняні пальтові тканини та вироби з них у м. Чернігові є занадто високою. Вважаємо, що причини цього лежать у економічній площині, але актуальним в ситуації, що склалася, буде пошук шляхів зниження матеріаломісткості тканин, що відобразиться і на ціні.

Головною причиною припинення користування виробами з вовняних пальтових тканин (28 %) респонденти відзначили зношування та зміни естетичних та /або функціональних властивостей у результаті цього. Отже, для задоволення потреб споживачів необхідно продовжувати дослідження в цьому напрямку. Також, разом з фактором, що виріб набрид або морально застарів (24 %), таким самим за важливістю виявився фактор виявлення теплопровідності, високої маси тощо (24 %). Як бачимо, подальші дослідження і в цьому напрямку є дуже актуальними. 25 % опитаних з повагою ставляться до місцевого виробника вовняних тканин ЗАТ «КСК «Чексіл»», що показує наявність перспективної цільової аудиторії для цієї компанії в регіоні.

Список використаних джерел

1. Дудла І. О. Товарознавчі аспекти маркетингу : навч. посіб. / І. О. Дудла. – К. : ЦНЛ, 2007. – 223 с.
2. Баркан Д. И. Как сегментировать рынок и изучить потребителя: Практический маркетинг / Д. И. Баркан, В. Б. Ходяченко. – Л. : Аквилон, 1991.
3. Энджел Дж. Ф. Поведение потребителей / Дж. Ф. Энджел, Р. Д. Блэкуэлл, П. У. Миниард. – СПб. : Питер, 1999.

УДК 681.5.01

Т.М. Герасименко, аспірантка**А.П. Ладанюк**, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СОЛОДУ
ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ****Т.М. Герасименко**, аспірантка**А.П. Ладанюк**, д-р техн. наук

Національний університет пищевых технологий, г. Киев, Украина

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ СОЛОДА КАК
ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ****Tetiana Herasymenko**, PhD student**Anatolii Ladaniuk**, Doctor of Technical Sciences

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

**MATHEMATICAL MODELLING OF DRYING MALT AS AN OBJECT OF
TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL**

Запропоновано математичну модель, яка враховує основні закономірності сушіння зерна у вертикальній солодосушарці та дає можливість визначити динамічні характеристики за окремими каналами. Крім того, математична модель дає можливість визначити ефективність окремих керувальних дій та вплив основних збурень.

Ключові слова: математичні моделі, виробництво, процеси.

Предложена математическая модель, учитывающая основные закономерности сушки зерна в вертикальной солодосушарке и дает возможность определить динамические характеристики по отдельным каналам. Кроме того, математическая модель дает возможность определить эффективность отдельных управляющих воздействий и влияния основных возмущений.

Ключевые слова: математические модели, производство, процессы.

The article offers a mathematical model, which takes into account the basic laws of drying grain in the vertical solodosusharts and makes it possible to determine the dynamic characteristics for individual channels. In addition, the mathematical model makes it possible to determine the effectiveness of controlling individual actions and impact of major disturbances.

Key word: mathematical models, production, processes.

Вступ. У технічній літературі наведені математичні моделі різного призначення, які використовуються у ході аналізу тепло- та масообмінних процесів, визначення та впливу геометричних розмірів та конструкцій сушарок, а саме: метод підводу тепла, спосіб переміщення речовини, характер руху сушильного агента та речовини (хаотичний або направлений), кількість зон у сушарці. Для аналізу та синтезу систем автоматизації необхідно отримати динамічну модель, яка описує поведінку головних змінних – вологості та температури зерна з урахуванням властивостей об'єкта (нестационарність, розподіленість координат тощо).

Методика досліджень. Відома класична математична модель [1], яка дозволила описати нестационарні поля вологовмісту і температури у процесі сушіння будь-якого продукту, у тому числі зерна.

$$\frac{\partial W}{\partial t} = a_m (\nabla^2 W + \delta_r \nabla^2 \theta_s) + \varepsilon(W) \frac{\partial W}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial t} = a \nabla^2 \theta_s + \frac{\varepsilon(W) r}{c_s} \cdot \frac{\partial W}{\partial t}, \quad (2)$$

де W – вологість матеріалу, θ_s – температура матеріалу, c_s – теплоємність зерна, a_m – коефіцієнт дифузії води, δ_r – термоградієнтний коефіцієнт, ε – критерій фазового перетворення, a – коефіцієнт теплообміну.

Запропонована модель найбільш повно враховує відомі положення теорії сушіння – про зв'язок води з матеріалом [2], явище термодифузії пару та ін. Ця модель має фізичний напрям і розроблена для детального опису процесів тепло- і масообміну в окремій зернині, поміщеній в умови сушіння. Процеси описуються системою диференціальних рівнянь з частинними похідними та нелінійними коефіцієнтами.

З огляду на особливості процесів, що протікають у сушильних камерах зерносушарок, застосування моделі (1) та (2) для вирішення завдань оптимізації сушіння зерна зустрічає багато труднощів фізичного (невизначеність коефіцієнтів тепло- і масообміну), математичного (неможливість аналітичного рішення) і обчислювального характеру. Тому в практиці для опису процесу сушіння зерна широке застосування отримали більш прості математичні моделі, які тією чи іншою мірою ідеалізують його протікання.

У роботі [3] отримано математичну модель, яка описує неперервний процес сушіння солоду:

$$\frac{d\vartheta}{dx} = \frac{K}{V}(\vartheta - \varphi), \quad \vartheta(0) = \vartheta_0, \quad (3)$$

$$U = \frac{(Q_0 - \rho\varepsilon_\infty)u_\infty + \lambda[(1-\varepsilon)\frac{\vartheta}{1+\vartheta} - (1-\varepsilon_\infty)\frac{\vartheta_H}{1+\vartheta_H}]}{\rho_0\varepsilon + \lambda\nu - \mu Q_0}, \quad (4)$$

$$T = \frac{(\rho_0\varepsilon_\infty + \lambda\nu - \mu Q_0)T_\infty + r_q\lambda[(1-\varepsilon)\frac{\vartheta}{1+\vartheta} - (1-\varepsilon_\infty)\frac{\vartheta_H}{1+\vartheta_H}]}{\rho_0\varepsilon + \lambda\nu - \mu Q_0}, \quad (5)$$

граничні умови:

$$T(\tau, 0) = f_1(\tau); u_T(\tau, 0) = u_T^0$$

початкові:

$$T(0, y) = T_H; W_3(0, y) = W_3^0; u_T(0, y) = u_T^0,$$

де V – швидкість руху солоду, K – коефіцієнт сушки солоду, φ – відносна вологість сушильного агента, U – вологовміст сушильного агента, ϑ – вологовміст солоду, T – температура, λ – коефіцієнт теплопровідності, ε – порозність, Q – витрата сушильного агента, μ – динамічна в'язкість, r_q – теплота фазового переходу.

У роботі [4] зроблено математичний опис неперервного процесу сушіння солоду з певними припущеннями, який має вигляд такої системи:

$$\begin{cases} \frac{dW_3}{dy} = \frac{\lambda}{r} p_3 (1-\varepsilon) f; \\ \frac{d\varphi_3}{dy} = -\lambda p_3 (1-\varepsilon) \left[d(T_T - T_3) + \frac{v_r f}{1-W_3} \right]; \\ T_3 = \frac{\varphi_3}{yC_3}; C_3 = C_{c3} + (C_B - C_{CT})W_3; \\ \frac{d\varphi_T}{dy} = \lambda p_3 (1-\varepsilon) \left[\frac{(1-v_r) f}{1-W_3} - a(T_T - T_3) \right]; \\ W_T = 1 - \frac{\mu}{\delta} (1 - W_{T0}); C_T = C_{CB} + (C_n - C_{CB})W_T; \\ T_T = \frac{\varphi_T}{\delta C_T}; \gamma = \frac{1-W_{30}}{1-W_3}; \delta = \mu - 1 - \gamma; 0 \leq y \leq 1. \end{cases} \quad (6)$$

де W_3 – вологість солоду, W_T – вологовміст теплоносія, v – коефіцієнт фазового перетворення, r – теплота пароутворення, a – коефіцієнт тепловіддачі солод-теплоносія, p_3 – густина зерен солоду, ε – порозність, T_T – температура теплоносія, T_3 – темпера-

тура солоду, C_{c3} – теплоємність сухих зерен солоду, C_B – теплоємність води, C_n – теплоємність водяної пари, C_{CB} – теплоємність сухого повітря.

Також відомі й інші моделі [5] для опису процесу сушіння матеріалу у шахтних зерносушарках:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + V_3 \frac{\partial W}{\partial x} - a_m(\theta_3) \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} \right) = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \theta_3}{\partial t} + V_3 \frac{\partial \theta_3}{\partial x} - \frac{\rho}{c'_3} \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial t} + V_3 \frac{\partial \bar{W}}{\partial x} \right) + \frac{A(V_T)}{c'_3 \rho'_3} (\theta_3 - \theta_T) = 0, \quad (8)$$

$$\text{де } \bar{W}(t, x) = \frac{2}{R^2} \int_0^R r W(t, x, r) dr,$$

$A(V_T)$ – емпіричний коефіцієнт теплообміну.

Розглянувши рівняння (7) для вологовмісту, можна дійти висновку, що модель враховує закони внутрішнього масообміну в елементарній зернині. Після усереднення поля вологовмісту можна будувати залежності кінетики сушки шару зерна $\bar{W}(t, x)$ та нагріву зернового шару $\theta_3(t, x)$.

Рівняння (7) і (8) можна застосовувати для аналізу і синтезу оптимальних режимів сушіння, оскільки вони побудовані з застосуванням змінних стану процесу (W, θ_3), містять основні керувальні та збурювальні змінні.

Проте запропонована модель є складною, певну фізичну проблему представляє визначення емпіричних коефіцієнтів, а також неочевидний перехід від елементарного шару до моделі кінцевого шару і сушильної камери. Тоді необхідно перейти до рівнянь більш загального вигляду, а саме математичного плану. Вони не тільки спростять модель, але і з більшою математичною коректністю дозволять врахувати складний характер умов тепло- і масообміну в сушильній камері.

Для задач автоматизації відома робота [6], в якій розроблено систему диференціальних рівнянь, які описують процеси у пневмогазовій сушильній установці:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1390 \frac{d(\Delta t_{mn})}{d\tau} + \Delta t_{mn} = 0,382 \Delta B_m, \\ 390 \frac{d(\Delta t_{r1})}{d\tau} + \Delta t_{r1} = 1,32 \Delta B_m + 0,29 \Delta t_{mn} - 0,024 \Delta L_B, \\ 0,85 \frac{d(\Delta \omega_{n,p})}{d\tau} + \Delta \omega_{n,p} = 1,0 \omega_1 - 0,018 \Delta G_1^c - 0,202 \Delta t_{\Gamma.P}, \\ 72 \frac{d(\Delta t_{\Gamma.P})}{d\tau} + \Delta t_{\Gamma.P} = 0,59 \Delta t_{r1} - 0,64 \Delta d_{\Gamma.P} - 0,042 \Delta G_1^c + 2,18 \Delta \omega_1 - 2,18 \Delta \omega_{n,p}, \\ 0,6 \frac{d(\Delta d_{\Gamma.P})}{d\tau} + \Delta d_{\Gamma.P} = 1,42 \Delta \omega_1 - 1,42 \Delta \omega_{n,p} + 0,0276 \Delta G_1^c, \\ 5,6 \frac{d(\Delta t_{\Pi 2})}{d\tau} + \Delta t_{\Pi 2} = -0,0238 \Delta G_1^c - 1,91 \Delta \omega_{n,p} + 0,85 \Delta t_{r2} + 1,91 \Delta \omega_2, \\ 2,24 \frac{d(\Delta \omega_2)}{d\tau} + \Delta \omega_2 = 1,0 \Delta \omega_{n,p} + 0,01175 \Delta G_1^c - 0,35 \Delta t_{r2} - 1,12 \Delta d_2, \\ 88 \frac{d(\Delta t_{r2})}{d\tau} + \Delta t_{r2} = 0,38 \Delta t_{\Gamma.P} - 1,15 \Delta d_2 + 0,0162 \Delta G_1^c + 1,38 \Delta \omega_{n,p} - 1,38 \Delta \omega_2, \\ 2,4 \frac{d(\Delta d_{r2})}{d\tau} + \Delta d_{r2} = 1,42 \Delta \omega_2 - 0,0166 \Delta G_1^c + 1,42 \Delta \omega_{n,p} + 1,0 \Delta d_{\Gamma.P}. \end{array} \right. \quad (9)$$

де t_{mn} – температура в топці, L_B – витрата теплоносія, B_m – витрата палива, t_{r1} – температура в камері змішування, $t_{r,p}$ – температура теплоносія, $d_{r,p}$ – вологовміст теплоносія, G_1^c – витрата матеріалу, $\omega_{n,p}$ – вологовміст матеріалу в зоні розрихлення, $t_{п2}$ – температура продукту для ділянки постійної швидкості сушіння, ω_2 – вологість продукту для ділянки постійної швидкості сушки, d_{r2} – вологовміст теплоносія для ділянки постійної швидкості сушки.

Результати та висновки. Враховуючи вищеперераховане, робимо висновок, що математичні моделі будуть відрізнятися за своєю будовою залежно від призначення і сфери застосування. У зв'язку з цим розробимо деяку класифікацію математичних моделей для опису процесу сушіння зерна. Таку класифікацію можна виконати згідно з різними критеріями:

- направленню досліджень (хімічне, біологічне, фізичне, математичне, кібернетичне);
- виду математичного оператора (алгебраїчні, трансцендентні, звичайні диференціальні рівняння, диференціальні рівняння з частинними похідними);
- особливостями математичного опису (нелінійності, число рівнянь і змінних, число констант, у тому числі емпіричних і теоретичних);
- області застосування (для зернини, елементарного шару, шару кінцевої товщини, сушильної камери);
- способу отримання (використання законів тепло- і масообміну, рівнянь матеріального балансу, інших методів).

Основні методи побудови математичних моделей:

- застосування фундаментальних законів природи (закон збереження енергії, маси тощо);
- застосування варіаційних принципів;
- ієрархічний підхід до побудови математичних моделей (принцип «від простого до складного»).

Управління процесом сушіння має відбуватися таким чином, щоб збереглися основні поживні властивості продуктів та висушити речовину до вологовмісту, який не буде перевищувати заданий. Для збереження поживних властивостей у більшості випадків необхідно накладати обмеження на температуру сушильного агента та матеріалу.

Для використання методів сучасної теорії управління математичні моделі повинні мати вигляд та форму, які є зручними для комплексного моделювання. Математичну модель шахтної солодосушарки розроблено з урахуванням таких основних принципів.

Сушильна камера шахтної зерносушарки як динамічний об'єкт являє собою систему з розподіленими параметрами. Враховуючи особливості її конструктивного виконання, вона може бути представлена у вигляді сукупності $n = L / h$ (L – висота сушарки, h – довжина зони) послідовно з'єднаних зон (у цьому випадку $n=4$), кожна з яких можна розглядати як об'єкт із зосередженими параметрами.

Загальний процес сушіння в сушильній камері розглядається як сукупність процесів, що одночасно протікають в її локальних зонах. Зерновий матеріал безперервним потоком переміщається по сушильній камері, послідовно переходячи з шару в шар. У кожній зоні процеси тепло- і масопереносу описуються на основі використання рівнянь матеріального та енергетичного балансу:

$$F_{\text{пр}} = F_{\text{відт}}, \quad (10)$$

де $F_{\text{пр}}$, $F_{\text{відт}}$ – потоки речовини на вході та виході.

Для нестационарного режиму:

$$\Delta(F_{\text{пр}} - F_{\text{відг}}) = K \frac{d\Delta E}{dt}, \quad (11)$$

де E – змінна, яка характеризує матеріал, K – коефіцієнт передачі об'єкта.

Таким чином, математична модель сушильної камери являє собою систему 4х4 рівнянь рухливих шарів. Вхідними параметрами зерна для кожної наступної зони є параметри зерна на виході з попередньої (вологість матеріалу, його температура). Вхідні параметри зерна для сушильної камери збігаються з граничними умовами для першого шару, а параметри зерна на виході останнього шару є вихідними для сушильної камери.

Для отримання математичної моделі сушарки необхідно мати класифікаційні ознаки, які будуть визначальними при її отриманні. Однак реалізація моделі у вигляді системи 4х4 нелінійних рівнянь у частинних похідних представляє значні складності. Тому модель можна спростити, врахувавши основні технологічні особливості процесу в кожній зоні.

Особливості шахтної солодосушарки:

- конвективний нагрів матеріалу;
- направлений рух матеріалу та сушильного агента;
- не враховується теплообмін у навколишнє середовище;
- рух сушильного агента та матеріалу: протилежні;
- режим роботи: як статичний, так і динамічний;
- кількість зон у сушарці: 4.

На основі вищевикладеного після проміжних перетворень приходимо до наступного вигляду:

$$\begin{cases} G_m \frac{dW}{dx} + N g_m = \frac{d(g_m w)}{d\tau}, \\ G_m \frac{d[(c_m + c_B w)t_m]}{dx} + a_m F_m (t_m - t_z) + N g_m r + \frac{\partial[(c_m + c_B w)t_m g_m]}{\partial \tau} = 0, \\ G_z - \frac{dI_z}{dx} + a_m F_m (t_z - t_m) - N g_m r + \frac{\partial(g_z I_z)}{\partial \tau} = 0, \\ G_z - \frac{dd}{dx} - N g_m = \frac{\partial(g_z I_z)}{\partial \tau}. \end{cases} \quad (12)$$

де G_m – витрата матеріалу, N – швидкість сушки, g_m – маса матеріалу, c_m – теплоємність матеріалу, c_B – теплоємність води, a_m – коефіцієнт теплообміну між матеріалом та сушильним агентом, F_m – площа теплообміну, t_m – температура матеріалу, t_z – температура сушильного агента, r – теплоємність пароутворення, I_z – ентальпія сушильного агента, g_z – маса сушильного агента, d – вологовміст сушильного агента, G_z – витрата сушильного агента, w – вологовміст на виході з сушильної камери.

Проаналізувавши вищерозроблену систему, запишемо її у вигляді (13) системи диференціальних рівнянь для однієї зони шахтної сушарки. Після деяких перетворень отримуємо:

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{g_{mi}}{G_m} \frac{d\Delta w_i}{d\tau} + \Delta w_i = \Delta w_{BX} + \frac{N}{G_m} \Delta g_{mi}; \\ & \frac{(c_m + c_B w_i) g_{mi}}{G_m (c_m + c_B w_i) + a_m F_m} \frac{d\Delta t_{mi}}{d\tau} + \Delta t_{mi} = \\ & = \frac{a_m F_m}{G_m (c_m + c_B w_i) + a_m F_m} \Delta t_z - \frac{Nr}{G_m (c_m + c_B w_i) + a_m F_m} \Delta g_{mi}; \\ & \frac{g_z}{G_z} \frac{d\Delta I_{zi}}{d\tau} + \Delta I_{zi} = \Delta I_{z0} - \frac{a_m F_m}{G_z} \Delta t_z + \frac{a_m F_m}{G_z} \Delta t_{mi} + \frac{Nr}{G_z} \Delta g_{mi}; \\ & \frac{g_z}{G_z} \frac{d\Delta d_i}{d\tau} + \Delta d_i = \Delta d_0 + \frac{N}{G_z} \Delta g_{mi}. \end{aligned} \right. \quad (13)$$

де індекс "i" – зона сушарки.

Отже, математичне моделювання конвективного сушіння зерна для промислових зерносушарок дозволяє відслідкувати процес сушіння, пов'язаний з багатьма факторами та параметрами, а також оцінити їх вплив на видалення вологи з зерна.

Для основних задач аналізу та синтезу автоматичної системи регулювання отримано математичну модель, яка враховує основні закономірності сушіння зерна у вертикальній солодосушарці та дає можливість визначити динамічні характеристики – постійні часу та коефіцієнти передачі за окремими каналами. Крім того, математична модель дає також можливість визначити ефективність окремих керувальних дій та вплив основних збурень.

Аналіз математичних моделей показав, що коефіцієнт передачі за різними змінними змінюється в 1,5–5 разів, а постійні часу в 1,3–1,8 раза, що приводить до необхідності застосування методів побудови адаптивних систем у класі нестационарних систем.

Список використаних джерел

1. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 471 с.
2. Ребиндер П. А. О формах связи влаги с материалом в процессе сушки : Доклады пленарного заседания / П. А. Ребиндер // Всесоюзн. науч.-техн. совещ. по интенсификации процессов и улучшению качества материалов при сушке в основных отраслях пром-ти и сел. хоз-ве. – М. : Профиздат, 1958. – 14 с.
3. Кашурин А. Н. Исследование конвективной сушки светлого солода с целью повышения эффективности работы солодосушилок : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Кашурин. – К., 1977. – 24 с.
4. Вылегжанин А. Н. Разработка высокоэффективного процесса сушки пивоварного солода : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.12, 05.18.07 / А. Н. Вылегжанин. – К., 1987. – 188 с.
5. Математическое описание процесса в шахтных зерносушилках / В. И. Жидко, П. Н. Платонов, А. С. Бомко, Ю. Н. Митрофанов // Изв. ВУЗов: Пищевая технология. – 1965. – № 5. – С. 173–178.
6. Сасин Н. Д. Разработка и исследование автоматической системы пневмогазовой сушильной установкой в производстве : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.07 / Н. Д. Сасин. – К., 1973. – 228 с.

УДК 685.341.85:006.83

В.А. Отрошко, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Н.В. Мережко, д-р техн. наук

Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ**В.А. Отрошко**, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Н.В. Мережко, д-р техн. наук

Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ДЕТСКОЙ ОБУВИ**Valentyna Otroshko**, PhD student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Nina Merezhko, Doctor of Technical Sciences

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF CONFORMITY OF CHILDREN'S FOOTWEAR

Розглянуто ситуацію на вітчизняному ринку шкіряного взуття. Охарактеризовано основні проблеми ринку, що сприяють актуалізації питання оцінювання відповідності. Підкреслено основні ключові аспекти оцінювання відповідності в Україні. Проаналізовано нормативну документацію з питань оцінювання відповідності. Розглянуто проблеми та перспективи членства України в СОТ та Угоди про асоціацію з ЄС.

Ключові слова: оцінювання відповідності, технічні регламенти, якість, безпечність, дитяче взуття, технічні бар'єри, СОТ, ЄС.

Рассмотрена ситуация на отечественном рынке кожаной обуви. Охарактеризованы основные проблемы рынка, которые способствуют актуализации вопроса оценки соответствия. Подчеркнуты основные ключевые аспекты оценки соответствия в Украине. Проанализировано нормативную документацию по вопросам оценки соответствия. Рассмотрены проблемы и перспективы членства Украины в ВТО и Соглашения об ассоциации с ЕС.

Ключевые слова: оценка соответствия, технические регламенты, качество, безопасность, детская обувь, технические барьеры, ВТО, ЕС.

In this article the state of domestic market of footwear is considered. The main challenges of the market, which contribute to actualization the issue of assessment of conformity, were described. The main aspects of conformity assessment in Ukraine were highlighted. Also it was analyzed the state of normative documentation on conformity assessment in Ukraine. Implications and prospects of Ukraine's membership in WTO and the Association Agreement with the EU were considered.

Key words: assessment of conformity, technical regulations, quality, safety, children's footwear, technical barriers, WTO, EU.

Постановка проблеми. Як відомо, вітчизняний ринок насичений товарами як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Звичайно, це позитивна риса, коли внутрішній ринок країни не обмежений товарами лише власного виробництва, що можна пояснити декількома чинниками. По-перше, наявність конкурентів-імпортерів стимулює вітчизняного виробника вдосконалювати продукцію, впроваджувати нові технології, тим самим підвищуючи якість товару з метою завоювання домінуючої позиції на ринку. По-друге, асортимент досить широкий і споживач має значний вибір серед продукції вітчизняних та закордонних виробників. Але, з іншого боку, закордонна продукція не завжди супроводжується необхідними документами, що підтверджують відповідність (сертифікатами відповідності, деклараціями про відповідність тощо) і, відповідно, гарантія якості таких товарів сумнівна, що є значною проблемою, особливо коли мова йде про товари дитячого асортименту.

Першочергове завдання держави у сфері торгівлі та виробництва – це забезпечення відповідних умов для діяльності та розвитку вітчизняного виробництва, що дозволить розширювати ринки збуту продукції, з іншого боку – це ретельний контроль за імпортною продукцією, що надходить на внутрішній ринок України з метою попередження продажу неякісної та небезпечної продукції. Захисним механізмом є досконала система оцінювання відповідності продукції як гарантія, що встановлені вимоги до продукції, процесу, послуги були виконані, що стосується як вітчизняної, так і імпоротної продукції.

Мета статті – проаналізувати процедуру та нормативну базу оцінювання відповідності дитячого взуття з зазначенням основних проблем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні, згідно зі статистичними даними, показник виробництва взуття в Україні на одну особу становить 0,6 пари і не змінюється з 2010 року [1]. Іншими словами, вітчизняне виробництво не має можливості забезпечити наявний в Україні попит на взуття, тому на внутрішньому ринку України широко представлено взуття закордонних виробників, причому частка останнього сягає приблизно 80 % [2].

Важливо зазначити, що статистичні дані не розкривають повної картини стану вітчизняного ринку взуття. Необхідно враховувати, що достатня кількість фірм-виробників взуття працюють за спрощеною системою оподаткування, яка не передбачає звітності у натуральних показниках. Тому дані, заявлені Державним комітетом статистики України, не можуть повністю охарактеризувати реальну ситуацію на ринку взуття. Іншою причиною ж є фальсифікування даних про взуття, що перетинає кордон України, а особливо ціни за товар. За посиленого контролю митної вартості імпортного взуття цей показник одразу зростає до 10–12 доларів за пару (що теж мінімум у 2–3 рази нижче реальної ціни) і відповідно зростають бюджетні платежі при розмитненні (33 % від ціни), сплачувати які постачальники не зацікавлені. Вихід з такої ситуації – контрабанда. У цьому випадку статистика показує різке зниження імпорту. Це «сірий» імпорт. У цьому і суть недобросовісної конкуренції [2].

Динаміка обсягів виробництва шкіряного взуття в Україні за 2009–2013 роки представлена на рис. 1. За останні 13 років взуттєва промисловість стабільно збільшувала обсяги виробництва до рівня 29,35 млн пар за рік [1].

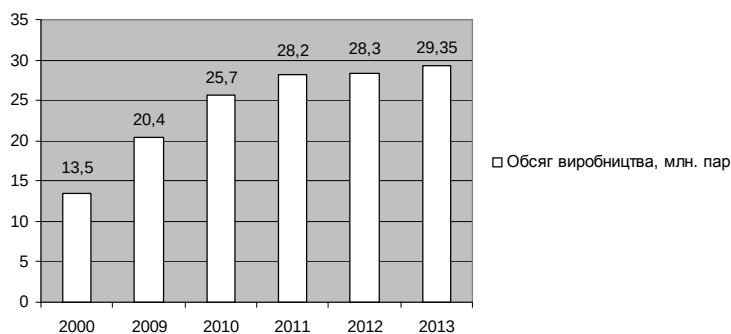


Рис. 1. Динаміка обсягів виробництва шкіряного взуття в Україні за 2009–2013 роки, млн пар
Джерело: [1].

Проаналізувати обсяги вітчизняного виробництва взуття за статеві-віковими ознаками не має можливості – статистичні дані дають лише розподіл інформації за матеріалами верху взуття. Але, аналізуючи наявний у роздрібній мережі асортимент, можна з впевненістю сказати, що вітчизняне виробництво представлено чоловічим, жіночим та дитячим взуттям всіх вікових категорій.

Аналіз експортно-імпортних операцій показав, що обсяги імпорту взуття в Україну значно перевищують обсяги експорту взуття вітчизняного виробництва (рис. 2) [3].

Безперечним лідером імпорту є Китай (> 50 %), а експорту – Італія (табл.).

Лідерство Китаю негативно впливає на споживача, оскільки якість китайського взуття, переважно, невисока – низький рівень досконалості виробничого виконання, використання штучних матеріалів, низька надійність. Саме тому дуже важливо контролювати якість та відповідність імпортного взуття вимогам нормативної документації.

Така ж ситуація і з дитячим шкіряним взуттям, якість якого повинна бути на найвищому рівні. Враховуючи скасування обов'язкової сертифікації дитячого взуття з 1 жовтня 2013 року, питання оцінювання відповідності постає ще більш гостро.

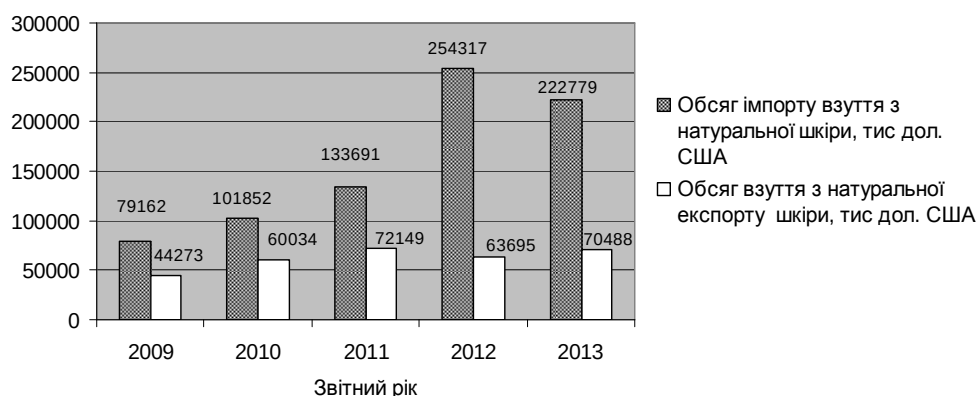


Рис. 2. Експорт-імпорт шкіряного взуття за 2009–2013 роки, тис. дол. США
Джерело: [3].

Таблиця

Частка країн-лідерів у загальному обсязі експорту/імпорту [3]

Рік	Країна-імпортер, %			Країна-експортер, %		
2009	Китай, 54,07	В'єтнам, 10,47	Індонезія, 6,25	Італія, 42,36	Росія, 13,58	Польща, 8,91
2010	Китай, 57,62	В'єтнам, 10,93	Індонезія, 7,45	Італія, 33,68	Росія, 24,36	Румунія, 8,29
2011	Китай, 54,91	В'єтнам, 10,72	Індонезія, 6,65	Італія, 35,61	Росія, 27,10	Румунія, 11,19
2012	Китай, 71,29	Туреччина, 6,11	В'єтнам, 5,77	Росія, 32,05	Італія, 31,10	Румунія, 9,54
2013	Китай, 64,41	В'єтнам, 10,72	Туреччина, 4,15	Італія, 31,90	Росія, 31,72	Румунія, 10,15

До того ж періодичні перевірки дитячого взуття на відповідність вимогам нормативної документації Держспоживінспекцією мають невтішні результати: зокрема, недобросовісні виробники використовують синтетичні матеріали замість натуральних, як того вимагає НД [4]. Враховуючи цей та інші аспекти, Державна інспекція України з питань захисту прав споживачів Наказом «Про внесення змін до наказу Держспоживінспекції України від 23.02.2012 № 38» від 07.03.2012 № 43 внесла до Переліку продукції підвищеного ступеня ризику дитяче взуття та одяг.

Тобто необхідність формування обов'язкових вимог до взуття для дітей обумовлено сучасним станом ринку взуття, який характеризується незначним обсягом вітчизняного виробництва та збільшенням імпортних виробів сумнівної якості та безпечності [5].

Вступ України до Світової організації торгівлі (СОТ) в 2008 році також дав потужний поштовх до вдосконалення та гармонізації НД (що стосується й дитячого взуття) та реформування установ системи інфраструктури якості, у тому числі щодо оцінювання відповідності.

Виклад основного матеріалу. Діяльність виробників на сьогодні майже повністю корелюється відповідно до вимог споживачів. Але, зважаючи на недостатню обізнаність споживачів у питаннях якості та безпечності товарів, отримуємо ситуацію, коли дитяче взуття, яке повністю задовольняє потреби споживача, не відповідає вимогам НД. До того ж у багатьох випадках споживач не має навичок ідентифікації використаних матеріалів і приймає синтетичні за натуральні, додатково ще й сучасні технології виробництва синтетичної шкіри дозволяють ввести в оману споживача.

У зв'язку з цим сьогодні дуже гостро стоїть проблема створення сучасних систем оцінювання відповідності, які, по-перше, супроводжувалися б законодавчо-нормативною базою, а по-друге, могли застосовуватися до якомога ширшого кола продукції [6].

Приєднання України до СОТ та підписання Угоди про технічні бар'єри у торгівлі започаткувало потужну роботу з реформування вітчизняної системи технічного регулювання загалом.

До широкого кола заходів, що є предметом Угоди про технічні бар'єри у торгівлі, належить і дія технічних регламентів та стандартів, включаючи вимоги щодо пакуван-

ня, маркування та етикетування, а також процедури оцінювання відповідності технічним регламентам і стандартам, адже одним із факторів, що сприяє розвитку міжнародної торгівлі, є найбільш повна гармонізація технічних регламентів. Гармонізація технічних регламентів може здійснюватись через застосування міжнародних стандартів та визнання еквівалентності технічних регламентів інших членів СОТ. Міжнародні стандарти мають бути пріоритетними в усіх галузях промисловості.

Адекватність процедур оцінювання відповідності повинна бути забезпечена обов'язково. Тобто процедури оцінювання відповідності та їх застосування мають бути не більш жорсткими, ніж це є необхідним для отримання членом СОТ впевненості щодо відповідності товарів чинним технічним регламентам або стандартам.

Гармонізація законодавчих та нормативних актів України з нормами СОТ є досить складним процесом, що вимагає значних зусиль, проте аналіз зовнішньоторговельних відносин України свідчить, що вступ держави до СОТ сприяв активізації торговельних відносин з країнами-членами.

Членство в СОТ засвідчило необхідність підтримки на державному рівні процесу якомога ширшого визнання процедур оцінювання відповідності, зокрема через укладання угод з органами оцінювання відповідності інших країни-членів СОТ (наприклад, органами акредитації, органами сертифікації, лабораторіями); прийняття результатів процедур з оцінювання відповідності, проведених у межах міжнародних систем тестування та сертифікації товарів, членом яких є Україна. Законом України "Про внесення змін до Закону України «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності»" від 10.04.2008 № 255-VI наведено норми національного законодавства щодо процедур оцінювання відповідності продукції у повну відповідність з вимогами статті 6.1 Угоди ТБТ у частині визнання результатів процедур оцінювання відповідності у країнах-членах СОТ, навіть якщо такі процедури відрізняються від власних, за умови, що такі процедури надають таку ж упевненість у відповідності продукції чинним технічним регламентам чи стандартам, як їх власні [6].

Отже, членство України в СОТ вже започаткувало процес реформування вітчизняної системи технічного регулювання в Україні відповідно до міжнародних вимог, що дозволяє товарам вітчизняного виробництва створювати конкуренцію закордонним на міжнародних ринках.

Додатково відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом (ЄС), що була підписана 27 червня 2014 року, була підписана Угода про асоціацію між Україною та ЄС – сторони зміцнюватимуть співробітництво у сфері технічного регулювання, стандартизації, ринкового нагляду, акредитації та робіт з оцінювання відповідності з метою поглиблення взаєморозуміння відповідних систем та спрощення доступу до відповідних ринків.

Зазначене співробітництво має дві позитивні сторони: 1) розширення ринків збуту вітчизняної продукції, стирання технічних бар'єрів та повномасштабний вихід на європейський ринок; 2) гарантія якості та безпечності імпортової продукції – захист прав споживачів.

У межах співробітництва Україна зобов'язана вживати необхідних заходів з метою поступового досягнення відповідності з технічними регламентами ЄС та системами стандартизації, метрології, акредитації, робіт з оцінки відповідності та ринкового нагляду ЄС.

ЄС підтримує усунення технічних бар'єрів у торгівлі з Україною в межах відповідних програм та проектів. До таких програм належить Програма підтримки галузевої політики з загальним бюджетом у розмірі 45 млн євро. Впровадження Програми розпочалося у 2009 році та триватиме до 2013 року (передбачається подовження періоду реа-

лізації на один рік). У межах Програм підтримки галузевої політики ЄС та Україна визначають конкретні цілі, що ґрунтуються на стратегії країни у відповідному секторі.

Першочергове завдання, що стоїть перед Україною з цього питання, – це посилення та прискорення процесу реформування законодавства та установ системи інфраструктури якості, для того, щоб вітчизняна промисловість одержала усі можливі переваги від розширення транскордонної торгівлі та поліпшення інвестиційного клімату в Україні. Додатково це вплине і на споживача, адже водночас сприятиме ефективному регулюванню в усіх секторах економіки, забезпечить наявність безпечної продукції та послуг кращої якості для громадян. Реформування національної системи технічного регулювання прискорить приєднання України до Угоди про оцінювання відповідності та прийнятність промислової продукції.

Міжнародні процедури у сфері оцінювання відповідності регулюються зводом правил ISO/IEC. ISO – це Міжнародна організація зі стандартизації та IEC – Міжнародна електротехнічна комісія, які утворюють спеціалізовану систему стандартизації в міжнародному масштабі. Саме вираз «продукція, процес чи послуга», прийнятий у цьому комплекті правил стосовно об'єктів оцінювання відповідності у широкому сенсі, повинен розглядатися як вираз, що охоплює, наприклад, будь-який матеріал, компонент, обладнання, систему, інтерфейс, протокол, процедуру, функцію, метод, діяльність будь-яких органів чи окремих осіб [6].

На сьогодні метою розроблення і застосування технічних регламентів є захист життя та здоров'я людини, тварин, рослин, національної безпеки, охорони довкілля та природних ресурсів, запобігання недобросовісній практиці. А відповідність введених в обіг в Україні продукції, процесів та послуг технічним регламентам є обов'язковою [7].

Враховуючи обов'язковість відповідності дитячого взуття вимогам нормативної документації та їх приналежності до товарів підвищеного ступеня ризику, виникає питання щодо досконалості та цілісності діючої в Україні нормативної документації.

Основним документом для розробки технічних регламентів на продукцію шкіряно-взуттєвої галузі має стати Директива № L 057 від 05.03.1999. Важливо, щоб на відповідність технічним регламентам перевірялися насамперед взуттєві матеріали, а не лише готове взуття, адже на властивості готового взуття значно впливають матеріали [8]. Функціональні, естетичні властивості, а також властивості надійності (у тому числі й формостійкість взуття) – все це залежить від якісної та раціонально підібраної натуральної шкіри для дитячого взуття.

Найбільшою проблемою вітчизняної нормативної документації є те, що вона в більшості випадків є застарілою, не враховує багатьох аспектів та не гармонізована з закордонною документацією. Завойовувати зовнішній ринок з такою продукцією – складно, а ринки ЄС та Росії є дуже перспективними для українського виробника: європейський – за обсягом споживання виробів легкої промисловості, російський – за подібними вимогами споживачів до виробів.

Безпечність взуття (крім спеціального і захисного з визначеними функціями) у ЄС передбачено контроль за безпечністю використовуваних матеріалів. Вимоги до матеріалів, встановлені в ЄС, здебільшого, аналогічні з чинними в Україні.

Оцінюванням відповідності взуттєвих шкіряних матеріалів за показниками безпеки в Європі займається Міжнародна асоціація дослідження та тестування в галузі екології текстилю (ЕКО-ТЕСТ). Асоціація займається не тільки дослідженнями, а й розробленням науково обґрунтованих вимог безпеки текстильних матеріалів і виробів із них.

В Україні також національні стандарти, технічні регламенти та процедури оцінювання відповідності мають розроблятися на основі наукових досягнень, знань і практики [8]. Залучення науковців до розроблення нормативної документації, постійного вдо-

сконалення вимог до продукції повинно бути інтенсивним. Тоді розроблена документація буде відповідати останнім досягненням науки та найповніше враховувати можливі небезпеки. Так, наприклад, показник формостійкості матеріалів та готового взуття не нормується в нормативних документах, а його вплив на якість та безпечність дитячого взуття є беззаперечним.

До переліку основних нормативних документів, що регулюють процедуру оцінювання відповідності дитячого взуття, належать:

- Закон України “Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності”;
- Закон України “Про підтвердження відповідності”;
- Постанова Кабінету Міністрів України “Про затвердження опису та правил застосування національного знаку відповідності”;
- Постанова Кабінету Міністрів України “Про затвердження Технічного регламенту модулів оцінки відповідності та вимог щодо маркування національним знаком відповідності, які застосовуються в технічних регламентах з підтвердження відповідності”;
- Декрет Кабінету Міністрів України “Про стандартизацію і сертифікацію”;
- Закон України “Про захист прав споживачів”;
- Закон України “Про загальну безпечність нехарчової продукції”;
- ДСТУ 3417-96 “Система сертифікації УкрСЕПРО. Процедура визнання результатів сертифікації продукції, що імпортується” та інші.

Вимоги до якості дитячого взуття встановлені ДСТУ ГОСТ 26165:2009 «Взуття дитяче. Загальні технічні умови». Крім того, окремо діють НД для деталей заготовки верху (ДСТУ 3923-99); деталей низу (ДСТУ 4261:2003); визначення сортності взуття (ГОСТ 28371-89); маркування, пакування, транспортування та зберігання взуття (ДСТУ 4142:2002); дефекти, терміни та визначення (ДСТУ 2158-93); окремі стандарти на методи випробування взуття.

Наявність серед діючої бази нормативних документів таких, що введені в дію 20-25 років тому, безперечно, створює технічні бар'єри у торгівлі. Адже вони є застарілими, а якщо і переглядалися та вносились зміни, то вони є несуттєвими і не вплинули загалом на проблему неактуальності: питання гармонізації вимог до продукції та удосконалення систем оцінювання відповідності постає особливо гостро. Підписання Угоди про асоціацію розкриває перспективи виходу на європейські ринки, але поки не буде усунено технічні бар'єри, реалізувати вихід буде неможливо. Тому необхідно залучати до розроблення та вдосконалення нормативної бази кваліфікованих спеціалістів, приводити вітчизняну нормативну базу у відповідність до вимог міжнародних стандартів, вводити в дію технічні регламенти. До того ж більшість наших виробників займаються виробництвом якісної та безпечної продукції, проблема лише у наявності відповідних супровідних документів, які б отримали визнання за кордоном.

У межах гармонізації вітчизняних стандартів зі стандартами Інтернаціональної Асоціації дослідження і випробувань у галузі екології текстилю, що працює під знаком ЕКО ТЕХ, вперше в Україні розроблено проект Державних санітарних правил і норм “Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Гігієнічні регламенти використання”. Цей документ є особливо важливим для товарів дитячого асортименту. Зазначені Державні санітарні правила та норми підготовлені на підставі Законів України: “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення” від 24.02.1994 № 4004–ХІІ; “Про охорону дитинства” від 26.04.2001 № 2402–ІІІ; “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 15.06.2004 №1765–ІV; “Про захист прав споживачів” від 01.12.2005 № 3161–ІV; нормативно-правових документів: Угода про партнерство і співтовариство України з Європейським Союзом від 16.06.1994 (ст. 51, ст. 56); Постанова

Кабінету Міністрів України "Про заходи щодо поетапного впровадження в Україні вимог директив Європейського Союзу, санітарних, екологічних, ветеринарних, фітосанітарних норм та міжнародних і європейських стандартів" від 19.03.1997 № 244; "Положення про державний санітарно-епідеміологічний нагляд в Україні" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 22.06.1999 р. № 1109 із змінами та доповненнями, затвердженими Кабінетом Міністрів України від 19.08.2002 р. № 1217 та від 04.09.2003 р. № 1402, Наказ МОЗ України "Про розробку санітарних норм та правил для виробів з текстилю, одягу та взуття" від 25.08.98 № 259. Галузеві нормативні документи та інструкції, які встановлюють вимоги до матеріалів текстильних, шкіряних, хутрових та виробів з них, повинні бути приведені у відповідність до цих санітарних правил і норм. Це приклад виваженого підходу до розроблення документа з врахуванням вимог ЄС та з перспективою на зовнішню торгівлю.

Висновки. Членство України в СОТ та підписання угоди про асоціацію з ЄС започаткували процес реформування вітчизняного законодавства та установ системи інфраструктури якості (у тому числі й установ з оцінювання відповідності). 27 червня 2014 року Україна зобов'язалась поступово досягти відповідності з технічними регламентами ЄС та системами стандартизації, акредитації, робіт з оцінювання відповідності та ринкового нагляду ЄС, а також дотримуватись принципів та практик, передбачених актуальними рішеннями та регламентами ЄС.

Реформування буде стосуватись і дитячого взуття зокрема. Український споживач, як і європейський, хоче та повинен мати можливість купувати безпечне та якісне взуття для дітей, забезпечити, що можливо завдяки досконалій процедурі оцінювання відповідності та технічній документації, що відповідає міжнародним вимогам. Робота в цьому напрямку є актуальною та матиме позитивні наслідки як для вітчизняного виробника, так і для споживача.

Список використаних джерел

1. *Отрошко В. А.* Проблеми вітчизняного ринку дитячого взуття / В. А. Отрошко, Н. В. Мережко // Економіка і управління в умовах глобалізації : матеріали III Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 29 січ. 2014 р. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, Ін-т екон. і упр. – Донецьк : Вид-во «Ноулідж», 2014. – С. 61.
2. *Бородина О.* На ринку України існує дуже жорстка, недобросовісна конкуренція контрабандного імпорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.rbc.ua/ukr/interview/show/aleksandr-borodynya-na-rynke-ukrainy-sushchestvuet-ochen-09102012141000>.
3. *Офіційний сайт Міністерства доходів та зборів України* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://minrd.gov.ua/mitna-statistika>.
4. *Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kmu.gov.ua>.
5. *Катрич В.* Безпечність взуття для дітей / В. Катрич // Товари і ринки. – 2012. – № 2. – С. 211–216.
6. *Комплексне порівняльно-правове дослідження відповідності законодавства України у сфері нетарифних бар'єрів в торгівлі між Україною та ЄС: технічні бар'єри та санітарія і фітосанітарія* / Державний департамент з питань адаптації законодавства. – К., 2011.
7. *Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності* : Закон України від 01.12.2005 № 3164-IV.
8. *Оцінка відповідності як вимога часу* / В. М. Катрич, В. Ю. Гура, О. І. Шакуров, Г. О. Пономаренко // Формування і оцінювання асортименту, властивостей та якості непродовольчих товарів : матеріали I Міжнародної наук.-практ. конф. (м. Львів, 22 листопада 2013 року) : тези доповідей : у 3 ч. Ч. III / відп. ред. П. О. Куцик. – Львів : Львів. комерц. акад., 2013. – С. 149–141.

УДК 664.95

М.М. Победаш, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

О.В. Сидоренко, д-р техн. наук

Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна

ШЛЯХИ СТАБІЛІЗАЦІЇ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РИБНИХ ПРЕСЕРВІВ НА ОСНОВІ ДРІБНИХ ОСЕЛЕДЦЕВИХ РИБ

Н.М. Победаш, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Е.В. Сидоренко, д-р техн. наук

Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина

ПУТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ РЫБНЫХ ПРЕСЕРВОВ НА ОСНОВЕ МЕЛКИХ СЕЛЬДЕВЫХ РЫБ

Mykola Pobedash, PhD student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Olena Sydorenko, Doctor of Technical Sciences

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

WAYS OF STABILIZATION OF THE CONSUMER PROPERTIES OF FISH PRESERVES BASED ON SMALL HERRING FISH

Досліджено шляхи стабілізації споживчих властивостей рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб, визначено методи підвищення якості та гарантування безпечності рибних пресервів за умови додавання рослинної сировини. Проведено органолептичні та фізико-хімічні дослідження (визначення буферності, загальної кислотності та масової частки кухонної солі в м'ясі риби) нових рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб із додаванням каротиномісної сировини.

Ключові слова: рибні пресерви, споживчі властивості, дрібні оселедцеві риби.

Исследованы пути стабилизации потребительских свойств рыбных пресервов на основе мелких сельдевых рыб, определены методы повышения качества и обеспечения безопасности рыбных пресервов при условии добавления растительного сырья. Проведены органолептические и физико-химические исследования (определение буферности, общей кислотности и массовой доли поваренной соли в мясе рыбы) новых рыбных пресервов на основе мелких сельдевых рыб с добавлением каротиносодержащего сырья.

Ключевые слова: рыбные пресервы, потребительские свойства, мелкие сельдевые рыбы.

Ways to stabilize consumer properties of fish preserves from small herring fish were investigated, methods to improve quality and ensure safety of fish preserves with addition of plant raw material were identified. An organoleptic and physico-chemical analysis (determination of buffering, total acidity and the mass fraction of salt in the fish flesh) of new fish preserves from small herring fish with added raw materials containing carotene.

Key words: fish preserves, consumer properties, small herring fish.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Моніторинг ринку рибних товарів вказує на обмежений асортимент рибних пресервів, виготовлених із вітчизняної рибної сировини та натуральних консервантів. Для виробництва рибних пресервів в Україні переважно використовують оселедець, що є імпортованою сировиною, з додаванням різних соусів, маринадів і заливок.

Традиційні способи виробництва рибних пресервів не враховують можливості використання як основної сировини для виробництва пресервів дрібних оселедцевих риб (тільки – *Clupeonella cultriventris*, кілька – *Sprattus sprattus*), що є поширеними в Азово-Чорноморському басейні і потребують оптимізації шляхів використання і перероблення, та рослинної сировини з підвищеним вмістом антиоксидантів (обліпіха – *Hippophae rhamnoides* L., журавлина – *Vaccinium oxycoccos* L.) як натуральних консервувальних компонентів.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Дослідивши український ринок рибних пресервів та проаналізувавши статистичні дані, можна зробити висновок, що рибні пресерви є продуктом харчування, який користується стабільним попитом у населення України. Рибні пресерви є найбільшою складовою

українського ринку рибних продуктів, їхня частка від загальної кількості перевищує 45 % [1].

Протягом останніх років спостерігається поступове зменшення виробництва рибної продукції. За період з 2007 по 2011 роки обсяг виготовленої рибної продукції зменшився з 35,3 тис. т до 18,8 тис. т, що становить майже 48 %. Зменшення обсягів виробництва рибних пресервів має значно менші темпи, ніж зменшення виробництва рибних продуктів загалом. За цей же період обсяг виробництва рибних пресервів скоротився з 11,1 тис. т до 8,6 тис. т, що становить 22,5 % [2].

Протягом років незалежності України обсяги вилову риби та добування інших водних живих ресурсів незмінно зменшувалися. За даними Державної служби статистики України, у період з 1990 року по 2013 рік обсяги рибного промислу скоротилися з 1 млн т риби до 216,4 тис. т [3; 4]. Незважаючи на щорічне зменшення обсягів вилову риби взагалі, на сьогодні запаси хамси, кільки та тюльки в Чорному та Азовському морях не використовуються повною мірою.

Щороку Російсько-Українська Комісія (РУК) з питань риболовства в Азовському морі визначає промислові запаси та встановлює квоти на вилов основних промислових риб Азовського моря. За результатами 25 сесії РУК було визначено, що найбільші промислові запаси в Азовському морі мають тюлька (200 тис. т) та хамса (280 тис. т), тому саме тюлька і хамса будуть основою сировинної бази риболовства в Азовському морі на найближчі роки. Щодо вилову зазначених видів риб на 2014 рік встановлені квоти в розмірі 50 тис. т та 80 тис. т відповідно, але впродовж попередніх років вилов був значно меншим, ніж встановлені квоти [5].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження споживних властивостей нових рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб із додаванням каротиновмісної сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Дрібні оселедцеві риби характеризуються комплексом позитивних властивостей, що обумовлені, насамперед, великим вмістом у них кальцію. Цей елемент необхідний для формування кісткової тканини, здоров'я волосся і нігтів, крім того, він регулює процеси згортання крові. Для засвоєння кальцію необхідний фосфор, підвищеним вмістом якого також характеризується тюлька. Ці мінерали в основному зосереджені не в її м'ясі, а у хвості, кісточках, хребті і шкірі риби, що потребує її комплексного безвідходного використання.

Крім необхідних мінеральних елементів, дрібні оселедцеві риби містять значну кількість ліпідів, що характеризуються вмістом омега-3-жирних кислот з вираженими антиоксидантними властивостями. Також у м'ясі тюльки та кільки містяться поліненасичені жирні кислоти, що знижують у крові рівень тригліцеридів і мають, відповідно, протиатеросклерозну дію. Тому дієтологи рекомендують включати дрібні оселедцеві риби в раціон людей, які страждають на атеросклероз, захворювання серцево-судинної системи і суглобів.

Дрібні оселедцеві риби є соледозріваючою сировиною, проте недостатньо використовуються для виробництва рибних пресервів внаслідок надзвичайно високої інтенсивності ферментативних процесів та незбалансованості смакоароматичних характеристик.

Стабілізацію якості з метою гарантування безпечності рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб можливо проводити за умови додавання рослинної сировини (обліпихи – *Hippophae rhamnoides* L., журавлини – *Vaccinium oxycoccos* L.), яка є природним консервантом з високим вмістом каротину та сорбінової кислоти.

Доведено, що ягоди обліпихи і журавлини є джерелом корисних речовин. Вони характеризуються високим вмістом вітаміну С, каротину, цукрів, органічних кислот, поліфенольних сполук, заліза, мають виражені антиоксидантні властивості. В ягодах ви-

явлено вагому кількість йоду, флавоноїдів, пектинів, антоціанів, солей калію, а в листках є флавоноїди і трітерпеноїди [6; 7].

Крім того, у ягодах журавлини виявлений поліфенол – рослинний антиоксидант, який протистоїть шкідливому впливу вільних радикалів на організм людини. Завдяки вмісту таніну сік журавлини блокує розвиток хвороботворних бактерій. Велика кількість флавоноїдів сприяє підвищенню міцності й еластичності кровоносних судин, покращується засвоюваність вітаміну С. Крім того, для вагітних ця ягода рекомендується як полівітамінний засіб.

Учені встановили, що журавлина допомагає в боротьбі з онкологічними захворюваннями. Кверцитин, виявлений у журавлині, перешкоджає утворенню раку товстої кишки і молочної залози.

Цілющі властивості обліпихи визначаються високим вмістом в її плодах вітамінів, мікроелементів й органічних кислот, надзвичайно важливих для профілактики і лікування багатьох захворювань.

У плодах обліпихи міститься близько 3,5 % цукру і багато органічних кислот (яблучна, винна, щавлева); дуже багато вітамінів – С, В₁, В₂, РР, К, Р і Е; фолієва кислота; каротин і каротиноїди, а також багато флавоноїдів (особливо рутину), залізо, бор, марганець. Є дубильні речовини, жирні кислоти (олеїнова, лінолева) і фітонциди, азотовмісні сполуки.

У плодах обліпихи і в корі гілок міститься серотонін, який відіграє важливу роль для нормальної діяльності нервової системи. У листі міститься велика кількість аскорбінової кислоти, фітонцидів, дубильних речовин, мікроелементів.

Відповідно, додавання обліпихи та журавлини з метою підвищення якості та стабілізації споживних властивостей є доцільним та актуальним.

Об'єктами дослідження були рибні пресерви на основі дрібних оселедцевих риб з додаванням ягід журавлини.

Випробування досліджуваних зразків рибних пресервів проводилися в лабораторії Чернігівського національного технологічного університету згідно з вимогами ГОСТ 3945-78 [8].

Дослідження проводились на 2-й, 7-й та 14-й дні зберігання рибних пресервів.

Для випробувань було обрано три зразки рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб із додаванням каротиновмісної сировини (табл.).

Таблица

Інгредієнтний склад рибних пресервів (г/100 г продукту)

№ п/п	Кілька, г	Журавлина, г	Сіль, г	Лавровий лист, г	Гвоздика, г	Чорний перець, г	Червоний перець, г
Зразок № 1	87	5	6	1	1	-	-
Зразок № 2	87	5	6	1	-	1	-
Зразок № 3	87	5	6	1	-	-	1

Основними критеріями оптимізації рецептурного складу рибних пресервів було покращення органолептичних властивостей (смак, запах) та подовження терміну зберігання. З цією метою до складу пресервів була додана рослинна сировина – журавлина (5 г), яка багата на вітамін С, каротин, сорбінову кислоту та володіє високими антиоксидантними властивостями.

Згідно із методикою, наведеною в ГОСТ 19182-89 [9] було проведено дослідження буферності рибних пресервів (рис. 1).

Буферність першого і третього зразків протягом двох тижнів залишалась стабільною за рахунок впливу рослинних компонентів. Буферність другого зразка протягом досліджуваного періоду зростала і лише на чотирнадцятий день досягла 110 градусів, що є мінімальним допустимим рівнем. Отже, додавання рослинної сировини сприяло подовженню терміну зберігання пресервів та стабілізації їх споживних властивостей.

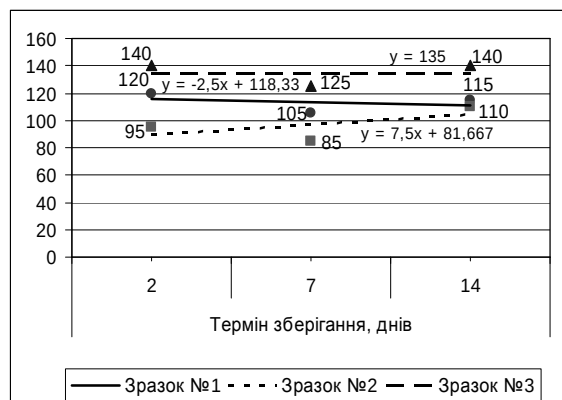


Рис. 1. Буферність рибних пресервів, град.

Визначення загальної кислотності проводилося відповідно до ГОСТ 27082-89 [10]. Загальна кислотність рибних пресервів розраховувалась у перерахунку на оцтову кислоту. Результати випробувань представлені на рис. 2.

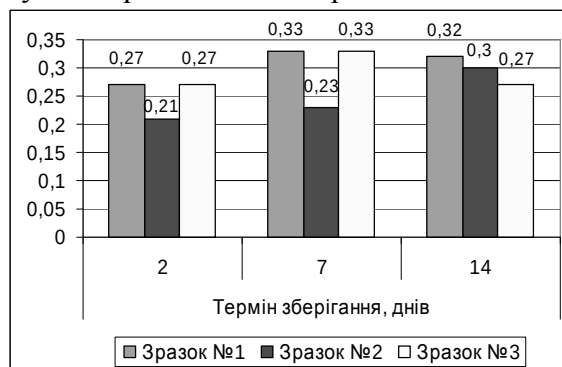


Рис. 2. Загальна кислотність рибних пресервів, %

Отримані результати щодо загальної кислотності трьох досліджуваних зразків рибних пресервів протягом двох тижнів залишалися стабільними в межах 0,2–0,3 %, що пояснюється антиоксидантним впливом рослинної сировини.

Визначення вмісту кухонної солі у рибних пресервах проводилося відповідно до ГОСТ 27207-87 [11]. Результати випробувань представлені на рис. 3.

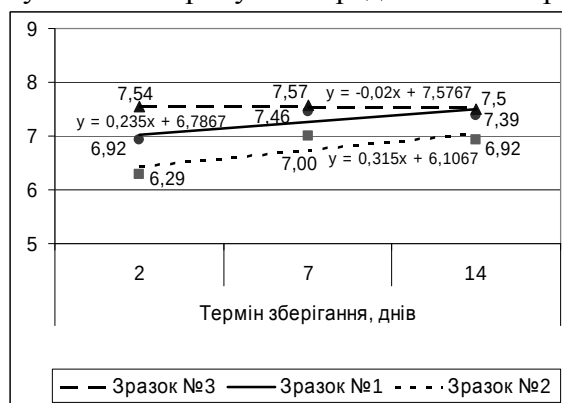


Рис. 3. Вміст кухонної солі в рибних пресервах, %

Таким чином, вміст кухонної солі в досліджуваних зразках знаходиться в допустимих межах. Згідно з ГОСТ 3945-78 масова частка кухонної солі в м'ясі риби повинна бути в межах 6–9 %. Результати, отримані на 7-й день зберігання, вищі ніж ті, що були отримані на 2-й день зберігання. Вміст солі на 7-й та 14-й дні практично не відрізняються. Це вказує на те, що для рівномірного просолення м'яса риби необхідний визначений час.

Органолептичні дослідження проводились за розробленою нами 5-бальною шкалою з урахуванням показників смаку, запаху, консистенції м'яса риби, стану риби і шкіряного покриву, кольору риби.

Смак та запах м'яса риби досліджуваних зразків пресервів був приємний, характерний дозрілій рибі цього типу з ароматом пряностей, без сторонніх присмаків та запахів. Консистенція м'яса риби – ніжна, соковита, не дрябла. Риба в досліджуваних зразках була ціла, без механічних пошкоджень, з чистою поверхнею. Колір риби був характерний для цього виду риби.

Таким чином, всі три досліджуваних зразки рибних пресервів на основі дрібних оселедцевих риб із додаванням каротиновмісної сировини відповідали вимогам діючих нормативних документів за показниками якості.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Рибні пресерви на основі дрібних оселедцевих риб та рослинної сировини (обліпихи, журавлини) характеризуються стабільними споживними властивостями протягом встановленого терміну зберігання. Виробництво таких видів пресервів надає можливість розширити асортимент рибних продуктів для масового харчування населення, оптимізувати шляхи використання і перероблення дрібних оселедцевих риб Азово-Чорноморського басейну в Україні.

Список використаних джерел

1. *Победаш М. М.* Актуальні проблеми ринку рибних пресервів України / М. М. Победаш // Інтегроване управління водними ресурсами : наук. зб. / відп. ред. В. І. Щербак. – К. : ДІА, 2013. – С. 499–503.
2. *Національний агропортал Latifundist.com* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://latifundist.com/novosti/6961-dolya-preservov-na-rybno-m-rynke-ukrainy-prodolzhaet-uvelichivatsya>.
3. *Державний комітет статистики України* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
4. *Державне агентство рибного господарства України* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://darg.gov.ua/_obsjagi_vilovu_ribi_ta_0_0_0_1459_1.html.
5. *Науково-дослідний інститут Азовського моря* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ru.niam.org.ua/26685.news.html>.
6. *Аптека трав* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://apteka-traw.com/zhuravlina.html>.
7. *Аптека трав* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://apteka-traw.com/oblipixa.html>.
8. *ГОСТ 3945-78* “Пресервы рыбные. Рыба пряного посола. Технические условия”.
9. *ГОСТ 19182-89* “Пресервы рыбные. Методы определения буферности”.
10. *ГОСТ 27082-89* “Консервы и пресервы из рыбы и морепродуктов. Методы определения общей кислотности”.
11. *ГОСТ 27207-87* “Консервы и пресервы из рыбы и морепродуктов. Метод определения поваренной соли”.

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 681.518:338.24

В.І. Зацерковний, д-р техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Ю.М. Лисецький, канд. техн. наук

Інститут проблем математичних машин і систем, м. Київ, Україна

Д.О. Сивик, студентка

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

С.В. Кривоберець, викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНОМУ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

В.И. Зацерковный, д-р техн. наук

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

Ю.М. Лисецкий, канд. техн. наук

Институт проблем математических машин и систем, г. Киев, Украина

Д.О. Сызык, студентка

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

С.В. Кривоберец, преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНИГОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Vitalii Zatserkovnyi, Doctor of Technical Sciences

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Yurii Lysetskyi, PhD in Technical Sciences

Institute of Mathematical Machines and Systems Problems, Kyiv, Ukraine

Daria Syvyk, student

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Serhii Kryvoberets, teacher

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

THE USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE SANITARY-HYGIENIC MONITORING OF AREAS (ON THE EXAMPLE OF CHERNIHIV REGION)

Проведено обґрунтування необхідності впровадження геоінформаційних технологій (ГІТ) у санітарно-гігієнічний моніторинг територій. Проаналізовано можливості використання геоінформаційних систем (ГІС) як одного з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності санітарно-гігієнічного моніторингу, які є інструментом для практичної реалізації нових підходів до моніторингу на основі просторового відображення об'єктів, що мають певні розміри та поширюваність у просторі. Розглянуто підходи щодо ведення бази даних ГІС у соціально-гігієнічному моніторингу.

Ключові слова: територія, геоінформаційні системи (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), санітарно-гігієнічний моніторинг.

Проведено обоснование необходимости внедрения геоинформационных технологий (ГИТ) в санитарно-гигиенический мониторинг территорий. Проанализированы возможности использования геоинформационных систем (ГИС) как одного из наиболее перспективных направлений повышения эффективности санитарно-гигиенического мониторинга, которые являются инструментом для практической реализации новых подходов к мониторингу на основе пространственного отображения объектов, имеющих определенные размеры и распространенность в пространстве. Рассмотрены подходы по ведению базы данных ГИС в социально-гигиеническом мониторинге.

Ключевые слова: территория, геоинформационные системы (ГИС), геоинформационные технологии (ГИТ), санитарно-гигиенический мониторинг.

A rationale for the implementation of geographic information technologies (GIT) in hygienic monitoring areas. Possibilities of the use of geographic information systems (GIS) as one of the most promising ways of increasing the effectiveness of hygienic monitoring, which is a tool for practical implementation of new approaches to monitoring using spatial mapping objects that have a certain size and propagation in space. The approaches regarding maintaining a database of GIS in socio-hygienic monitoring.

Key words: territory, geographic information systems (GIS), geographic information technology (GIT), sanitary-hygienic monitoring.

Постановка проблеми. Найважливішим завданням розвитку суспільства є посилення уваги до здоров'я населення як головного фактора економічного зростання і забезпечення безпеки країни, виявлення чинників погіршення стану здоров'я населення і формування на цій основі комплексу заходів щодо забезпечення ефективного санітарно-гігієнічного моніторингу.

Дослідження останніх років у сфері екологічної епідеміології й аналізу ризику для здоров'я населення свідчать, що стан середовища проживання, разом із соціальними проблемами, є одним з найважливіших умов, які визначають стан здоров'я населення [1]. Україна щороку втрачає понад 700 тис. своїх громадян, причому 1/3 з них – люди працездатного віку (смертність населення в Україні становить 15,2 чол., а у країнах-членах Європейського Союзу – 6,7 на 1000 населення). Смертність чоловіків працездатного віку в Україні перевищує аналогічний показник навіть тих країн, де ВВП на душу населення значно нижчий. Смертність від серцево-судинних захворювань в Україні є однією з найвищих у світі та становить 66 % у структурі загальної смертності, а смертність від онкологічних захворювань – 13 %. Фактично ці два види захворювань визначають майже 80 % щорічних втрат населення країни.

Таким чином, актуальним завданням є забезпечення оперативного моніторингу за станом здоров'я населення, його оцінювання і прогнозування, встановлення впливу факторів навколишнього середовища на здоров'я населення, інвентаризації джерел впливу на здоров'я населення, наочного подання реальних результатів санітарно-гігієнічного моніторингу територій. Геоінформаційні системи (ГІС) володіють величезними потенційними можливостями в дослідженні як медичних, так і екологічних проблем. А у багатьох випадках встановлення причинно-наслідкових зв'язків між патологічними процесами і комплексом факторів навколишнього середовища без ГІС взагалі не можна визначити. Проте питання впровадження ГІС у санітарно-гігієнічний моніторинг до сьогодні залишається відкритим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам моніторингу навколишнього середовища присвячені праці Ю. Ізраеля, І. Герасимова, Б. Виноградова [1], В. Федорова, М. Косих, В. Ковди, О. Лопатіна, О. Новікова, С. Савіна, В. Гридін, В. Акорвецького, К. Кондратьєва, Н. Малащенко, Л. Кулешова, Ш. Литвака, Б. Кочурова, В. Родіонова, П. Поповича та багатьох інших.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Використання геоінформаційних технологій у санітарно-гігієнічному моніторингу територій зумовлено актуальною проблемою необхідності подальшого розвитку і вдосконалення сучасної системи соціально-гігієнічного моніторингу.

На сучасному етапі вирішення цієї проблеми засновано на формуванні ефективних інформаційно-аналітичних систем соціально-гігієнічного моніторингу із застосуванням ГІС як засобу підтримки прийняття рішень (ППР), що можуть забезпечити введення, маніпулювання й аналіз географічно визначених даних для ППР у системі соціально-гігієнічного моніторингу.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є обґрунтування необхідності застосування геоінформаційних технологій (ГІТ) як ефективного засобу просторового аналізу впливу факторів навколишнього середовища на здоров'я населення регіону та їх візуалізації в санітарно-епідеміологічному моніторингу й створення єдиної системи розпо-

діленої обробки даних, організації обласної ієрархічної системи збору, обробки, збереження, аналізу і подання інформації про стан здоров'я і середовище проживання з використанням сучасних інформаційних технологій.

Об'єктом дослідження обрана Чернігівська область як один з типових аграрно-промислових регіонів України.

Вихідною базою для проведення дослідження слугували дані офіційної статистики регіональних статистичних, медико-профілактичних і природоохоронних установ.

Виклад основного матеріалу. У ст. 49 Конституції України зазначено, що «кожен громадянин має право на охорону здоров'я, медичну допомогу та медичне страхування». Охорона здоров'я забезпечується державним фінансуванням відповідних соціально-економічних, медико-санітарних і оздоровчо-профілактичних програм. Держава створює умови для ефективного і доступного для всіх громадян медичного обслуговування.

Згідно зі ст. 16 Конституції України, «збереження генофонду українського народу є обов'язком держави». Проте, як свідчать дані Державного комітету статистики України, Міністерства економіки України, Міністерства охорони здоров'я України та експертні оцінки, реальний стан охорони здоров'я дуже сильно відрізняється від задекларованого [2]:

- кількість абортів перевищила кількість народжень у 1,5 рази. На 1000 новонароджених припадає 136 абортів. 20 тис. абортів щорічно роблять українські дівчата-підлітки, із них 0,5 тис. ще не виповнилось 14 років. Щорічно аборти роблять 100 тис. жінок, які ще не народжували дітей, і для 320 із цих жінок це закінчується смертю;

- неухильно підвищується показник смертності новонароджених на одну тисячу народжених. Значна кількість новонароджених (0,0015 %) до одного року не доживає. Приблизно стільки ж осіб щорічно гине в дорожньо-транспортних пригодах на автошляхах України;

- високий показник материнської смертності;

- із числа жінок репродуктивного віку 2 млн не можуть народити дитину за станом здоров'я, і кожна п'ята подружня пара – безплідна. Понад 30 % вагітних жінок уражені анемією. Приблизно 1,9 млн із 2,4 млн молодих сімей мають намір обмежитися тільки однією дитиною;

- середній вік жінок становить близько 74, чоловіків – 63 років;

- за показником народжуваності на 1000 жителів Україна посідає передостаннє місце серед республік колишнього СРСР та країн Європи;

- показник кількості померлих перевищує показник кількості народжених. За смертністю населення Україна посідає друге місце серед країн Євразії;

- значно зменшилась кількість дітей, особливо у сільській місцевості: у кожному четвертому селі діти не народжуються, в 10 % сільських населених пунктів немає дітей до п'яти років, а в 1500 селах взагалі немає молоді у віці від 16 до 29 років. Для всієї Європи сумарний коефіцієнт народжуваності сьогодні дорівнює 1,5 дитини. А в Україні – 1,3. За розрахунками ж фахівців, якщо за певний час вікова структура населення стабілізується відповідно до сучасного режиму народжуваності, скажімо, однієї дитини на жінку, то кількість населення зменшуватиметься наполовину приблизно кожних 25–30 років;

- на медичному обліку знаходяться 319 тис. дітей з психоневрологічними захворюваннями, понад 1 млн дітей мають хвороби органів травлення, 345 тис. – крові та кровоносних органів, 284 тис. – ендокринної системи, 27 тис. – уражені дитячим церебральним паралічем;

- на початок 2026 р. кількість населення України становитиме близько 42 млн осіб. Значна частина населення буде фізично і психічно неповноцінною. Також за прогнозами на 2026 рік особи віком 60 років і більше становитимуть 25 %, а частка дітей зни-

зиться до 15 %. У таблиці для порівняння наведені дані середньої тривалості життя і віку виходу на пенсію в Україні і деяких країнах ЄС.

Таблиця

Середня тривалість життя і вік виходу на пенсію

Країна	Середня тривалість життя		Вік виходу на пенсію (загальний)	
	чоловіки	жінки	чоловіки	жінки
Україна	62,7	73,5	65	60
Німеччина	72	78	65	60
Велика Британія	72	79	65	60
Австрія	72	79	65	60
Угорщина	65	74	60	55
Польща	67	76	65	60
Франція	72	81	60	60
Швеція	80	83.7	65	65

За останні 15 років чисельність населення України скоротилася майже на 7 млн осіб (з 52,2 млн до 45,6 млн), що можна порівняти з населенням таких країн, як Данія, Грузія, Фінляндія, Норвегія [3].

За прогнозами, через 10 років кількість населення України становитиме 36–38 млн, і якщо така динаміка зберігатиметься, то через 50 років українців залишиться 8–12 млн. В Європі демографічна картина протилежна. Кількість населення країн Європейського Союзу постійно збільшується. Середня тривалість життя в Україні на 10–12 років менша, ніж у країнах Європейського Союзу. Серед 223 країн світу Україна займає 150-е місце за показником середньої тривалості життя. Така демографічна ситуація зумовлена високим рівнем захворюваності населення, де лідерами є серцево-судинні, онкологічні захворювання, цукровий діабет, хронічні респіраторні інфекції [3].

Негативні тенденції економіки, недостатній розвиток соціально-побутової сфери, суттєвий техногенний тиск на довкілля викликають погіршення показників здоров'я населення, що призводить до необхідності подальшого розвитку і вдосконалення системи соціально-гігієнічного моніторингу для зниження ризику для здоров'я населення. На сьогодні вирішення цієї проблеми засноване на розвитку методології оцінювання ризику для здоров'я, формуванні ефективних інформаційно-аналітичних систем соціально-гігієнічного моніторингу, а умови організації соціально-екологічного моніторингу в Україні вимагають впровадження нових підходів до інформаційних технологій та структур отримання, обробки і представлення даних про стан здоров'я і середовище життєдіяльності населення.

Для оцінювання будь-якої інформаційної технології повинен використовуватись комплекс критеріїв, який би забезпечував [4]:

- накопичення, систематизацію, обробку та аналіз великих об'ємів різноманітної територіально-розподіленої інформації на всіх рівнях моніторингу;
- використання загальноприйнятих форматів баз даних (БД);
- відкритість інформаційної системи, яка надавала б можливість інформаційної взаємодії із системами державних органів влади й управління, медичними та іншими організаціями;
- гнучкість, яка дозволила б здійснювати поетапне впровадження;
- наявність розвинених можливостей експорту й імпорту даних;
- використання розвинених і загальноприйнятих технічних платформ;
- економічну доцільність.

Перерахованим вимогам найбільш повно відповідають геоінформаційні системи, які є одним з найбільш наукомістких і перспективних засобів управління як на державно-

му, так і на регіональному і місцевому рівнях. ГІС використовують у своїй основі високий ступінь формалізації, закономірно визначають високий ступінь виробничої дисципліни медичної діяльності під час проведення санітарно-гігієнічного моніторингу. Серед ключових переваг ГІС, що описані у праці [4], виділяють зручне відображення просторових даних, інтеграцію даних усередині організацій і територій, обґрунтованість прийняття рішень, використання ГІС для створення карт. ГІС дозволяють інтегрувати дані інших інформаційних систем для аналізу об'єктів, створення математичних моделей різної складності. Саме цей принцип дозволяє інтегрувати медико-статистичні бази даних до ГІС. Значимість електронного картографування для цілей забезпечення санітарно-гігієнічного моніторингу (СГМ) населення полягає в можливостях ГІС забезпечити систематизацію інформації, накопичуваної в системі, виконувати диференційований аналіз гігієнічного стану території, прогнозування тенденцій, визначення найбільш небезпечних «гарячих» точок, розроблення адекватних та ефективних пріоритетних і перспективних заходів щодо покращення санітарно-епідеміологічного стану. Створення єдиної системи програмного забезпечення, що ґрунтується на геоінформаційних підходах, спрямоване на формування інформаційного фонду СГМ, уніфікації процесу отримання багатопланової інформації, інтегрального її опрацювання, стандартизації, встановленні зв'язку показників здоров'я і факторів навколишнього середовища, з наступним виділенням пріоритетних, проведенні гігієнічного ранжирування території, оздоровчих заходів.

ГІС покликані забезпечити можливості [5]:

- оперативного спостереження за рівнем санітарно-епідеміологічного стану населення, його оцінювання і прогнозування змін;
- встановлення впливу факторів середовища проживання на здоров'я населення;
- інвентаризації джерел впливу;
- прив'язування атрибутивних даних до конкретних просторових об'єктів;
- наочного подання базової й аналітичної інформації.

Екологічна напруженість (екологічний потенціал) території є результатом комплексного оцінювання природних факторів, що представляють територію як системний об'єкт щодо сформованих нерегламентованих господарських впливів. До показників екологічної напруженості можна віднести: геоморфологічні; літологічні, кріогенні, кліматичні характеристики, а також такі фактори техногенного впливу на екологічні системи, як урбанізація територій, розвиток транспортних комунікацій, розвиток гірничорудного виробництва, розвиток обробляючої промисловості високого класу шкідливості, інтенсивність застосування добрива в сільському господарстві, техногенні забруднення повітря і поверхневих вод [1].

При роботі з ГІС мінімальною адміністративною територіальною одиницею є населений пункт або адміністративний район. Саме до географічних координат цього пункту прив'язуються дані про екологічну напруженість території, медико-статистичні і соціально-демографічні показники. При цьому первинні дані про певну хворобу можуть бути подані абсолютними числами, а деякі демографічні показники інтерпретуватись на групу населених пунктів, адміністративний район або регіон. Фактори, що впливають на здоров'я населення, представлені на рис. 1.

Структура баз даних первинної інформації, що буде використовуватись у просторовому аналізі, повинна включати:

- інформацію про інфекційну захворюваність;
- демографічну інформацію досліджуваного району;
- інформацію про якість питної води;
- інформацію про якість атмосферного повітря;

- інформацію про стан ґрунтів;
- інформацію про стан води відкритих водоймищ;
- інформацію по джерелам електромагнітного випромінювання.

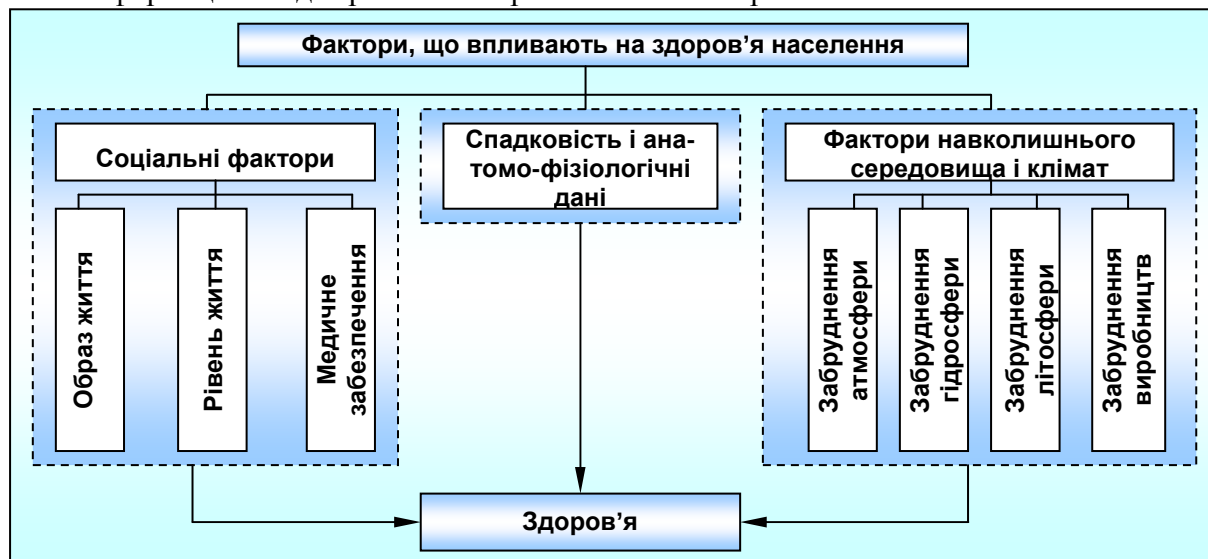


Рис. 1. Фактори, що впливають на здоров'я населення

Основні функції ГІС у системі соціально-гігієнічного моніторингу показані на рис. 2, а компоненти ГІС у системі санітарно-гігієнічного моніторингу представлені на рис. 3.

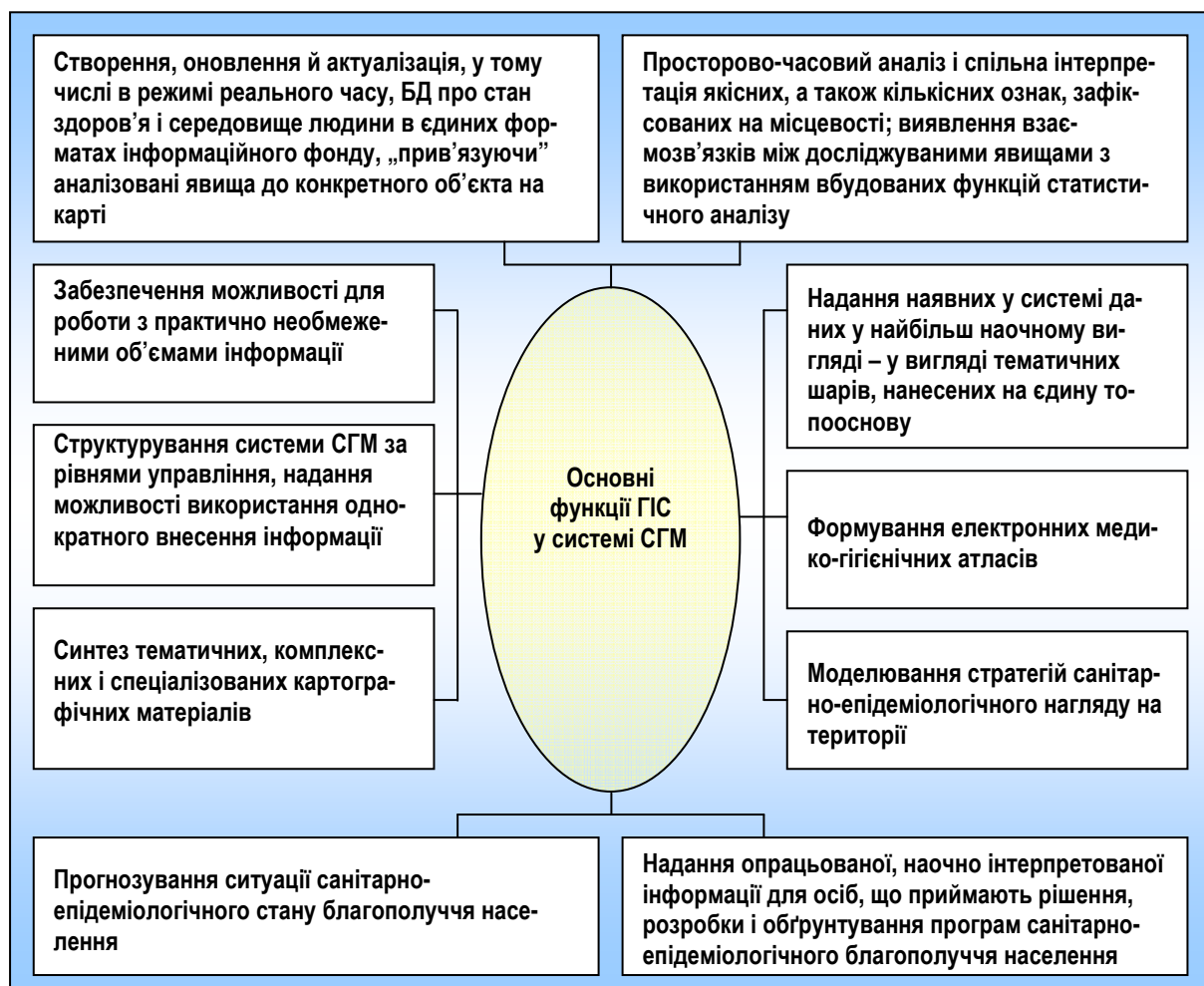


Рис. 2. Основні функції ГІС у соціально-гігієнічному моніторингу

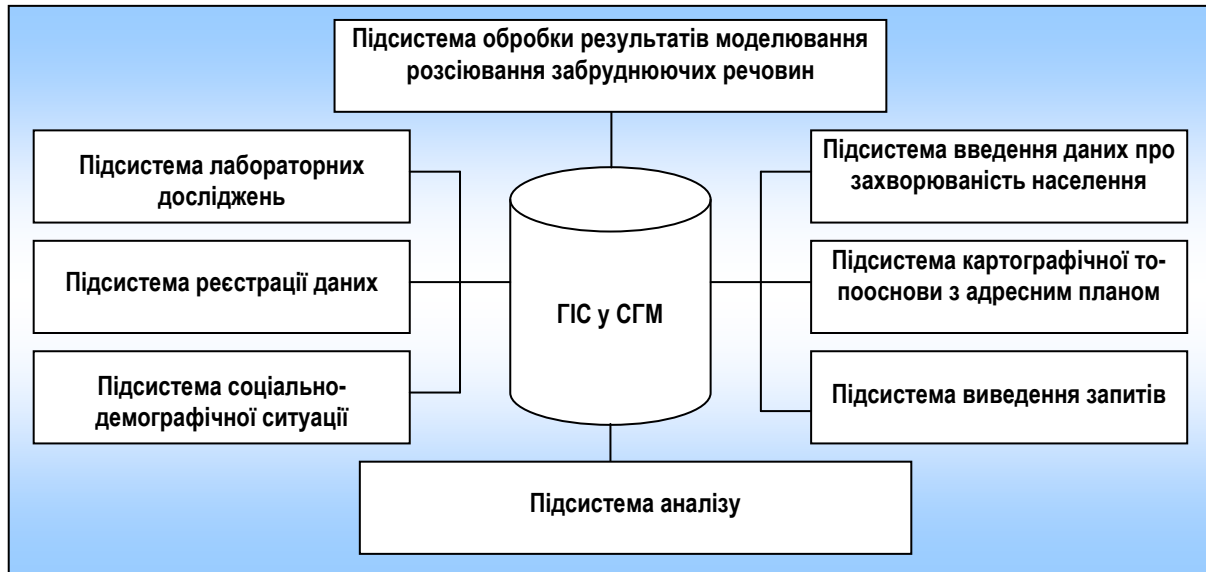


Рис. 3. Компоненти ГІС у санітарно-гігієнічному моніторингу

Підсистема лабораторних досліджень являє собою підсистему введення результатів лабораторних досліджень середовища мешкання населення.

Підсистема реєстрації даних повинна включати в себе характеристики точок відбору проб та нормативну документацію.

Підсистема соціально-демографічної ситуації повинна дозволяти автоматично конвертувати файли з табличними даними, які містять соціально-демографічну інформацію про кожного мешканця з вказівкою адреси.

Підсистема введення даних про захворюваність населення імітує талон амбулаторного хворого.

Підсистема картографічної топооснови з адресним планом являє собою цифровий картографічний матеріал певного населеного пункту області масштабу 1:10 000 з набором тематичних шарів.

Підсистема виведення запитів повинна забезпечити формування запитів за даними моніторингу атмосферного повітря, питної води, ґрунтів за будь-який період часу й у будь-якій точці населеного пункту.

Підсистема обробки результатів моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі повинна забезпечувати формування векторних тематичних шарів.

Підсистема аналізу повинна аналізувати чисельність населення, підданого забрудненню; виконує оцінювання експозиції населення.

Як приклад, на рис. 4–9 представлено інтерпретацію деяких характеристик екологічної напруженості територій України, побудованих за допомогою ГІС.

Чернігівська область (рис. 10) – одна з найбільших на Україні. Площа – 31,9 тис. км² (5,3 % території країни), густота населення – 36 осіб/км². Розташована на півночі України в поліській та лісостеповій зонах Придніпровської низовини. На заході і північному заході межує з Гомельською областю Білорусі, на півночі – з Брянською областю Росії, на сході – з Сумською, на півдні – з Полтавською, на південному заході – з Київською областями України. Середня висота над рівнем моря – 120 метрів, на північному сході – 200 метрів, на південному заході – 120–150 метрів. Має своєрідні природні ландшафти, досить поширені біологічні різновиди. Клімат помірно-континентальний. Середньорічна температура січня – -7°C (рис. 11), липня – +19°C (рис. 12). Середньорічна кількість опадів – 550–660 мм.

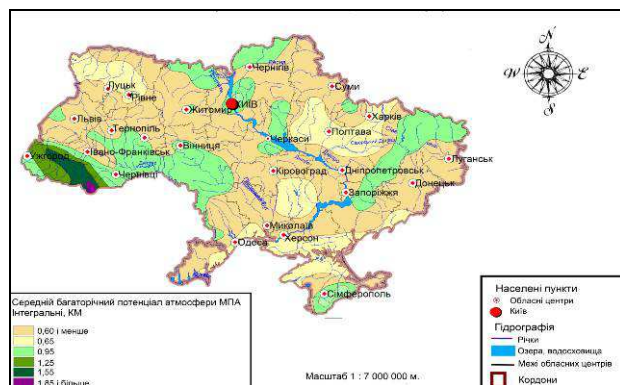


Рис. 4. Оцінка метеорологічного потенціалу України

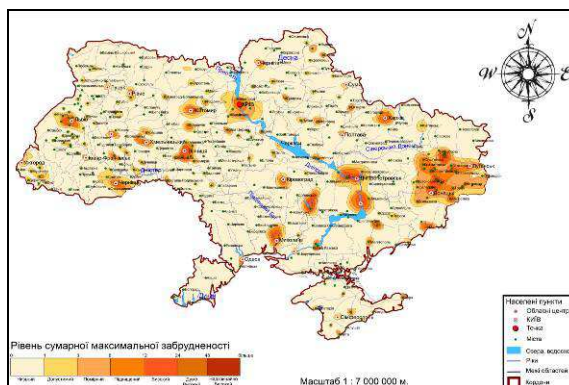


Рис. 5. Оцінка забруднення атмосферного повітря України

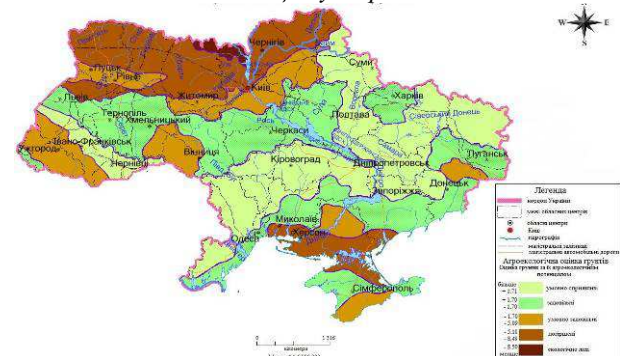


Рис. 6. Агроекологічна оцінка ґрунтів України

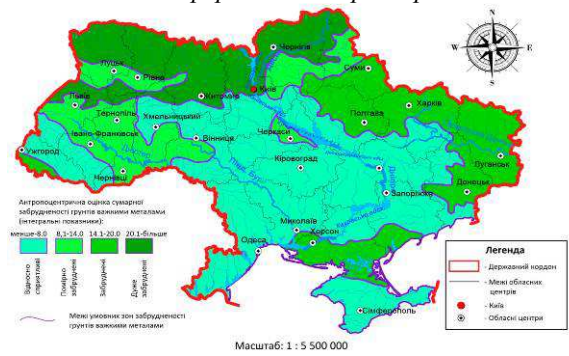


Рис. 7. Забрудненість ґрунтів важкими металами

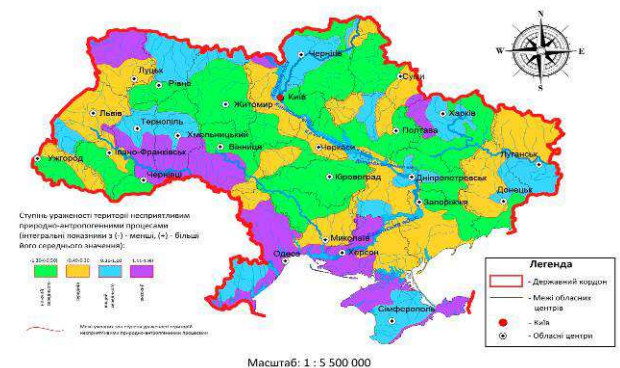


Рис. 8. Несприятливі антропогенні процеси

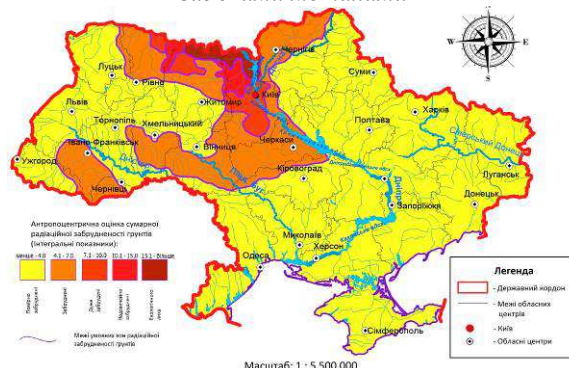


Рис. 9. Радіаційна забрудненість ґрунтів

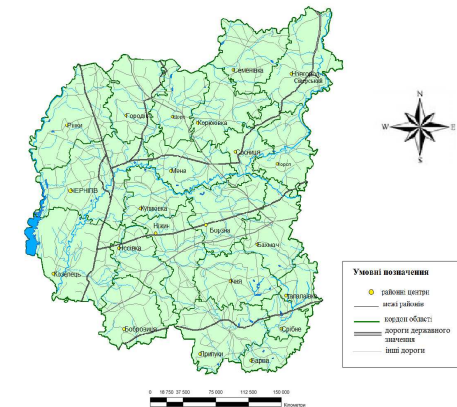


Рис. 10. Карта Чернігівської області



Рис. 11. Розподіл середньомісячної температури в січні



Рис. 12. Розподіл середньомісячної температури в липні

ГІС у системі СГМ дає можливість отримати всю необхідну інформацію для вирішення таких завдань:

- оцінювання санітарно-гігієнічної ситуації в зоні проживання населення;
- вибір контингентів (діти, дорослі) з адресною прив'язкою до мікрорайону або освітнього закладу;
- кількісне оцінювання підданого хворобі, епідемії населення;
- відбір пріоритетних забруднювачів за факторами навколишнього середовища;
- створення прогнозних карт змін рівня захворюваності різними нозологіями у територіальному розрізі.

Необхідно відзначити, що просторовий аналіз відкриває нові можливості не тільки аналізу захворюваності, але й візуалізацію його результатів під час проведення нарад, конференцій різного рівня, у ході обґрунтування рішень, необхідності проведення програм профілактичної спрямованості. Разом з тим геоінформаційні технології можуть бути використані з метою оперативного і ретроспективного епідеміологічного аналізу та моніторингу.

Результати моніторингу поширеності хвороб населення представлені на рис. 13. результати моніторингу приросту населення в Чернігівській області за даними [6] представлені на рис. 14.

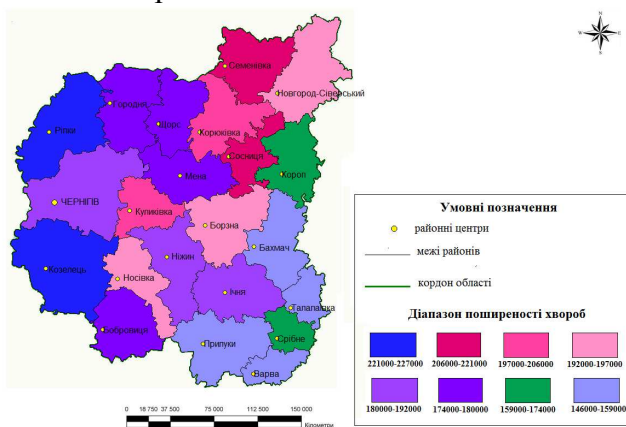


Рис. 13. Поширеність хвороб населення Чернігівської області на 100 тис. чол.

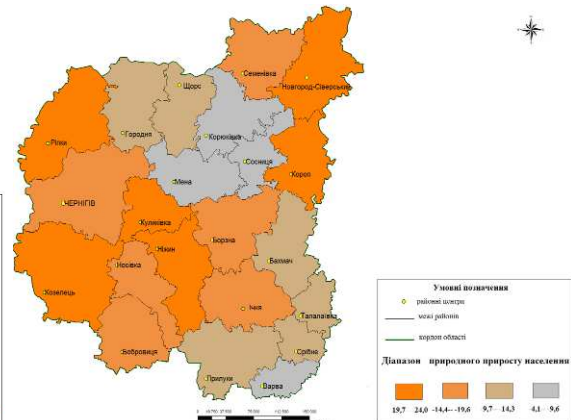


Рис. 14. Картосхема приросту населення в Чернігівській області на 100 тис. чол.

На рис. 15 представлена динаміка змін приросту населення в Чернігівській області за даними [6].

Висновки і пропозиції. Основним призначенням ГІС у системі санітарно-гігієнічного моніторингу є:

- забезпечення цілісності опису середовища проживання людини на єдиній просторовій основі, яка відкриває можливість комплексного оцінювання стану здоров'я населення, встановлення факторів, що негативно впливають на людину, і прогнозування стану здоров'я населення та середовища проживання населення;
- визначення причинно-наслідкових зв'язків між станом здоров'я населення і впливом факторів середовища проживання людини;
- формування єдиного інформаційного фонду;
- розроблення оперативних пропозицій щодо ведення моніторингу для прийняття рішень органами виконавчої влади й органами місцевого самоврядування;
- надання необхідної картографічної інформації тематичного і багатоцільового призначення в традиційному, цифровому або електронному вигляді;
- забезпечення інтеграції і використання в системі зовнішніх баз даних.

УДК 504.75+691.311

Т.Г. Иващенко, канд. техн. наук**И.Д. Индже**, канд. техн. наук

Государственная экологическая академия последиипломного образования и управления Министерства экологии и природных ресурсов Украины, г. Киев, Украина

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ФОСФОГИПСА**Т.Г. Иващенко**, канд. техн. наук**І.Д. Індже**, канд. техн. наук

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України, м. Київ, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОГІПСУ**Taras Ivashchenko**, PhD in Technical Sciences**Irina Ince**, PhD in Technical Sciences

State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Kiev, Ukraine

ECOLOGICAL ASPECTS OF PHOSPHOGYPSUM UTILIZATION TECHNOLOGIES

Представлены результаты анализа влияния на окружающую среду существующих технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные смеси в сравнении с предложенной технологией. Показано, что широко используемые в мире технологии утилизации фосфогипса очень энергозатратны, а затраты на очистку сточных вод в 2,5 раза превышают затраты производства единицы продукции. Также процесс сопровождается значительными выбросами парниковых газов. Наведены экологические и энергетические преимущества разработанной технологии, а именно отсутствие образования сточных вод, а также снижение выбросов парниковых газов до 28 раз.

Ключевые слова: утилизация, фосфогипс, экологическая безопасность, энергоёмкость, сточные воды, парниковообразующие газы, технологии переработки.

Представлено результати аналізу впливу на навколишнє середовище наявних технологій утилізації фосфогіпсу при переробці його в будівельні суміші в порівнянні із запропонованою технологією. Показано, що широковикористовувані у світі технології утилізації фосфогіпсу дуже енергозатратні, а витрати на очистку стічних вод у 2,5 рази перевищують витрати виробництва одиниці продукції. Також процес супроводжується значними викидами парникових газів. Наведені екологічні й енергетичні переваги розробленої технології, а саме відсутність утворення стічних вод, а також зниження викидів парникових газів до 28 разів.

Ключові слова: утилізація, фосфогіпс, екологічна безпека, енергоємність, стічні води, парниковоутворюючі гази, технології переробки.

Results of analysis of environmental impact of existing phosphogypsum utilization technologies during the processing it in construction mixes compared with the proposed technology are presented in the paper. It is shown that widely used technologies for phosphogypsum utilization in the world are very energy-intensive, and the cost of wastewater treatment is 2,5 times greater than the costs of one unit production. Also, the process is accompanied by significant emissions of greenhouse gases. Environmental and energy advantages of the technology, namely the lack of wastewater, as well as GHG emissions reduction to 28 times are presented.

Key words: recycling, phosphogypsum, ecological safety, energy consumption, wastewater, greenhouse gas, processing technology.

Постановка проблемы. Экологическая опасность технологического процесса утилизации фосфогипса при переработке его в строительные материалы характеризуется высоким уровнем использования топливно-энергетических ресурсов, образованием твердых или жидких отходов, значительными выбросами газообразных загрязняющих веществ в атмосферу, а также наличием различного вида вредных излучений.

Уровень использования топливно-энергетических ресурсов на реализацию какого-либо процесса оценивается удельными затратами первичной энергии на единицу валового внутреннего продукта страны (энергоёмкость ВВП) [1].

Энергоёмкость ВВП Украины в 2,6 раза превышает средний уровень энергоёмкости ВВП стран мира (рис. 1).

Одной из причин высокой энергоёмкости в Украине есть высокое потребление энергетических ресурсов в конкретных технологиях на производство единицы продукции, а также причиной высокой энергоёмкости является технологическое отставание в большинстве отраслей промышленного производства.

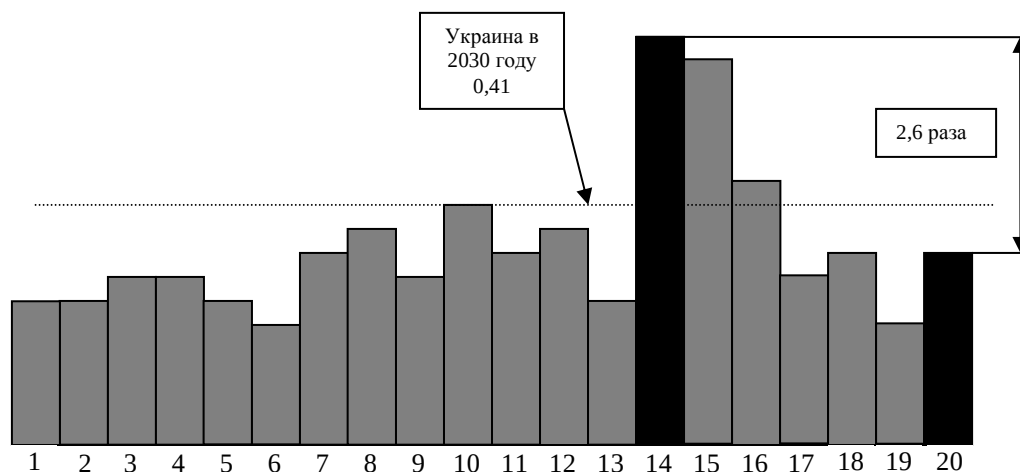


Рис. 1. Энергоемкость ВВП стран мира, кг у.т./\$ США:

1 – Австрия; 2 – Дания; 3 – Франция; 4 – Германия; 5 – Испания; 6 – Великобритания; 7 – Швеция; 8 – Финляндия; 9 – Польша; 10 – Чехия; 11 – Венгрия; 12 – Литва; 13 – Турция; 14 – Украина; 15 – Россия; 16 – Беларусь; 17 – Австралия; 18 – Китай; 19 – Япония; 20 – в мире

Одной из стратегических целей, сформулированных в Энергетической стратегии Украины до 2030 года [1], является создание малоэнергоёмкой и малоресурсоёмкой экономики путем внедрения новых технологий на основе сохранения безопасности жизненного пространства человека. Опережение темпов экономического роста по сравнению с темпами потребления энергоресурсов должно обеспечить до 2030 года достижение среднего мирового уровня показателей энергетической эффективности.

Таким образом, в Энергетической стратегии Украины сформулирован основной критерий оценки эффективности – расход условного топлива на единицу ВВП. Что касается технологического процесса, то здесь в качестве такого критерия выступает расход условного топлива на единицу готовой продукции. Технологический процесс представляет собой совокупность необходимых технологических операций, выполняемых последовательно во времени с целью получения готового продукта.

Анализ последних исследований и публикаций. В технологиях утилизации фосфогипса путем превращения его в строительные материалы и изделия применяют несколько вариантов последовательности технологических операций. Первый вариант: репульпация, механическое удаление влаги в фильтрах, сушка, обжиг в гипсоварочных котлах или других тепловых агрегатах, помол [2]. Второй вариант: репульпация, тепловая обработка в автоклаве, механическое удаление влаги в фильтрах (вакуум-фильтры, пресс-фильтры), сушка, помол [3]. Третий вариант: репульпация, механическое удаление влаги в фильтрах, тепловая обработка в автоклаве, механическое удаление влаги в фильтрах, сушка, помол [3].

Затраты тепловой энергии в технологическом процессе с использованием топлива определяются технологическим коэффициентом полезного действия агрегата, в котором осуществляются реакции превращения исходных компонентов в готовый продукт.

Фактические затраты на тепловую обработку гипсового камня, по среднестатистическим данным в отрасли, представленным В.В. Иваницким [4], килограмм условного топлива на тонну вяжущего:

- гипсоварочные котлы 43,3 (= 0,46);
- сушильные барабаны 55,0 (= 0,36);
- автоклавы 123,7 (=0,032).

Тепловой процесс считается экономичным, если технологический коэффициент полезного действия превышает 0,5. Как следует из приведенных выше данных, его величина в технологии производства гипсовых вяжущих оставляет желать лучшего. Испо-

льзование автоклава в качестве теплового агрегата является наименее выгодным решением с точки зрения экономии топлива, но именно автоклав наиболее распространен в технологиях утилизации фосфогипса. Основным недостатком известных технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные материалы и изделия является значительный расход тепловых ресурсов на единицу готовой продукции.

Второй недостаток большинства эксплуатируемых в мире технологий переработки фосфогипса в вяжущие и изделия – обязательный процесс добавления воды для отмывки фосфогипса от водорастворимых примесей. Часть воды, добавленной к фосфогипсу, механически удаляют. После удаления из фосфогипса эта вода превращается в сточные воды.

Для механического удаления воды применяют вакуум- и пресс-фильтры. Фильтры потребляют значительное количество электрической энергии, а вода, отжатая из материала, подлежит обеззараживанию. В связи с чем создается новая проблема: обезвреживание сточных вод [5–7]. Оставшуюся после механического удаления воду из фосфогипса, как правило, испаряют при помощи тепловой обработки.

Отмывка водой приводит к значительному увеличению энергетических затрат, поскольку воду сначала механически отжимают в фильтрах (увеличивается расход электроэнергии), затем ее испаряют в сушилках (расходуется топливо – повышается расход тепловой энергии).

Образование в технологическом цикле сточных вод имеет побочное негативное влияние на окружающую среду и требует дополнительно строительства очистных сооружений.

Третий недостаток существующих технологий утилизации фосфогипса – наличие значительного количества газообразных выбросов в окружающую среду. Повышение расхода сжигаемого топлива сопровождается увеличением выбросов парниковообразующих газов, таких как углекислый газ и пары воды.

По сравнению с производством вяжущих из природного сырья такие технологические линии оборудованы большим количеством машин, что увеличивает металлоемкость технологии, а значит, капитальные и эксплуатационные затраты.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Таким образом, массовое использование фосфогипса взамен природного гипсового камня сдерживается отсутствием экономически выгодных и экологически чистых технологических процессов переработки этих отходов [5–6]. Технологические линии составлены из громоздких, металлоемких и энергоемких машин.

Наиболее приемлемым направлением повышения экологической безопасности и экономической целесообразности превращения фосфогипса в вяжущие является нейтрализация примесей в фосфогипсе без добавления воды [4–7] и создание безавтоклавной технологии утилизации фосфогипса.

Цель статьи – проанализировать влияние на окружающую среду существующих технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные смеси и показать экологические и энергетические преимущества предложенной технологии.

Изложение основного материала. На основании проведенных нами исследований предложена технология [8] изготовления строительных изделий из свежего фосфогипса, основанная на том, что излишнюю влагу химически связывают с помощью полугидрата сульфата кальция. Полугидрат сульфата кальция получают путем обжига во взвешенном состоянии отвального фосфогипса.

Смесь фосфогипса свежего и полугидрата сульфата кальция (ПСК), полученного из фосфогипса отвального, активируют на протяжении 1–4 минут. Затем смесь направляют в пресс, где формуют изделия путем прессования (рис. 2).

Предложенная технология позволяет получить строительные изделия стандартного качества, по упрощенной технологии, без загрязнения окружающей среды сточными

водами, с меньшим выбросом газообразных загрязняющих веществ в атмосферу и сниженным расходом энергетических ресурсов.

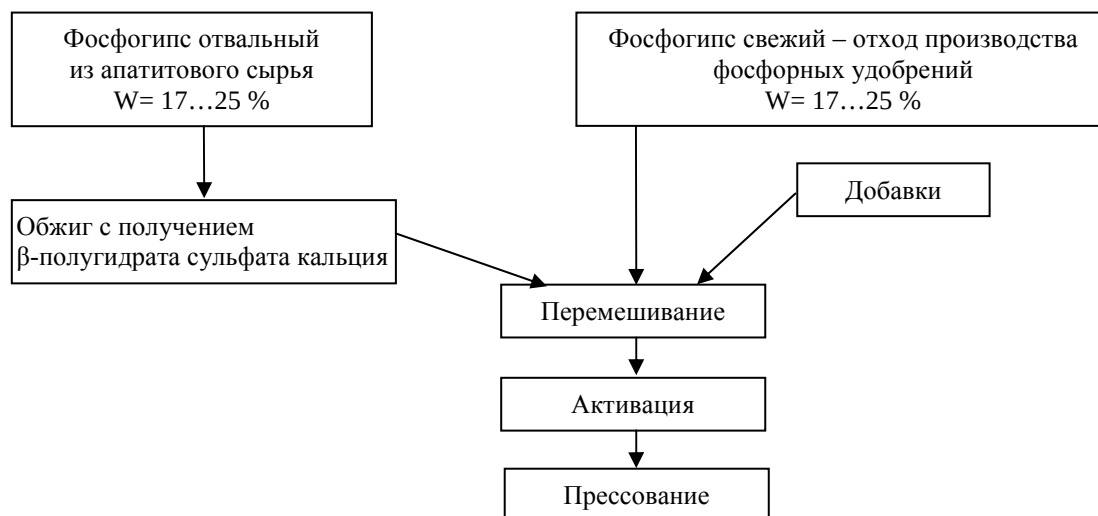


Рис. 2. Технология совместной утилизации свежего и отвального фосфогипса

Также при реализации предложенной технологии снижается расход топлива. В качестве аналога для сравнения приняты показатели работы технологической линии, установленной в г. Воскресенске Московской области Российской Федерации (ПО «Минудобрения») по разработкам фирм КНАУФ («Джиулини») по данным [7].

Ниже приведены сравнительные показатели по расходу топлива на тепловую обработку фосфогипса (табл. 1). При составлении табл. 1 были приняты следующие допущения: начальная влажность свежего фосфогипса – 35 %, механическим способом удалено по технологии «Джиулини» – 15 % влаги, по предлагаемой технологии такое же количество влаги удалено химическим способом.

Таблица 1

Показатели потребления топлива на утилизацию фосфогипса

Технология утилизации	Расход топлива на сушку фосфогипса, кг у. т/т ПСК	Расход топлива на образование ПСК, кг у. т/т ПСК	Суммарный расход топлива, кг у. т/т ПСК	Количество ПСК в 1 т продукта, %	Расход топлива на 1 т продукта, кг у. т/т продукта
«Джиулини»	50,0	123,7	173,7	100,0	173,7
Предлагаемая	50,0	30,0	80,0	10,0	8,0

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, предложенная технология отличается низкими затратами топливных ресурсов. Так, общий расход условного топлива на тонну готовой продукции по известной технологии составляет 173,7 кг, а предлагаемая технология характеризуется расходом условного топлива 8,0 кг, что в 21 раз ниже.

Также предложенная технология способствует избеганию образования сточных вод. По данным Т.М. Матвеевой, Т.И. Карху, Н.Б. Антоничевой, В.А. Терехова [7], затраты на утилизацию 1 тонны стоков технологической линии по переработке фосфогипса в вяжущие на Воскресенском ПО «Минудобрения» составляют в денежном выражении сумму, примерно равную стоимости производства 1 тонны вяжущего. Количество сточных вод на 1 тонну вяжущего – около 2,5 т. Иными словами, затраты на утилизацию сточных вод по технологии фирмы «Джиулини» превышают в 2,5 раза затраты на производство вяжущего.

В предлагаемой нами технологии утилизации фосфогипса сточные воды отсутствуют, поскольку в технологической линии нет операции механического удаления влаги из фосфогипса.

Газообразные выбросы. В связи с ужесточением требований к защите окружающей среды появилась настоятельная необходимость снижения образования этих выбросов в химических технологиях.

Сравнительная характеристика выхода газов в тоннах на 1 тонну готовой продукции по известной и предлагаемой технологии представлена в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные показатели выхода газов при переработке фосфогипса

Наименование технологии	Удельный выход, т/т продукта			
	Сточные воды	Отходящие газы		
		всего	в т. ч.	
			CO ₂	H ₂ O
КНАУФ («Джиулини»)	2,5	4,65	0,24	0,810
Предлагаемая	0	0,208	0,01	0,028

Годовой выброс газов при производительности технологической линии 200 000 т/год: технология КНАУФ («Джиулини»):

всего газов – $4,65 \cdot 200000 = 930\,000$ т;

в том числе:

– углекислого газа – 48 000 т;

– водяных паров – 162 000 т;

предлагаемая технология:

– всего газов – $0,208 \cdot 200\,000 = 41\,600$ т;

в том числе:

– углекислого газа – 2000 т;

– водяных паров – 5600 т.

Сравнение параметров выбросов газов показывает, что общее количество газов, выбрасываемых в атмосферу, снижается более чем в 20 раз, уменьшение парниковообразующих газов составляет: углекислый газ – в 24 раза, пары воды – в 28 раз.

Выводы. Проанализированы основные недостатки известных технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные материалы и изделия: значительная энергоёмкость, образование сточных вод и парниковых газов. Показано, что предлагаемая технология является энергосберегающей, поскольку расход тепловой энергии на единицу готовой продукции снижается ориентировочно более чем в 20 раз, по сравнению с технологией фирм КНАУФ («Джиулини»), которая внедрена в г. Воскресенске Московской области. Также показано, что предлагаемая технология является экологически чистой, т. к. выбросы загрязняющих газообразных веществ в атмосферу снижаются более чем в 20 раз. Предложенная технология характеризуется полным отсутствием сточных вод.

Список использованных источников

1. *Энергетическая стратегия Украины* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN38530.html.
2. *Технологические основы изготовления гипсовых изделий по энергосберегающей «мокрой» технологии* : сб. трудов ВНИИстром / [В. В. Иваницкий, Л. Я. Клыкова, И. Н. Белков, Н. Б. Сорокин]. – 1989. – Вып. 67(95). – 134 с.
3. *Воробьев Х. С. Гипсовые вяжущие и изделия* / Х. С. Воробьев // Технологические основы изготовления гипсовых изделий по энергосберегающей «мокрой» технологии / [В. В. Иваницкий, Л. Я. Клыкова, И. Н. Белков, Н. Б. Сорокин]. – М. : Стройиздат, 1983. – 230 с.
4. *Иваницкий В. В. Номенклатура, технология и оборудование для изготовления эффективных гипсовых материалов и изделий* / В. В. Иваницкий // Сб. трудов ВНИИстром. – 1982. – Вып. 48(76). – 551 с.
5. *Ахмедов М. А. Фосфогипс. Исследование и применение* / М. А. Ахмедов, Т. А. Атакузиев. – Ташкент : ФАН, 1980. – 171 с.

6. Гипсовые вяжущие повышенной прочности и водостойкости из фосфогипса / В. В. Иваницкий, Л. Я. Клыкова, Ж. П. Байканов, В. П. Плетнев // Строительные материалы. – 1983. – № 9. – С. 12–14.

7. Исследование вторичных вод производства высокопрочного вяжущего из фосфогипса : сб. трудов ВНИИстром / [Т. М. Матвеева, Т. И. Карху, Н. Б. Антоничева, В. А. Терехов]. – 1984. – Вып. 52 (80). – 142 с.

8. Іващенко Т. Г. Екологічно безпечні процеси утилізації фосфогіпсу і конверторного шлаку : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Т. Г. Іващенко. – К., 2010. – 24 с.

УДК 331.468

Т.М. Таїрова, канд. хім. наук

ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки і охорони праці», м. Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ У ВУГІЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

Т.Н. Таїрова, канд. хим. наук

ГУ «Национальный научно-исследовательский Институт промышленной безопасности и охраны труда», г. Киев, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Tamara Tairova, PhD in Chemical Sciences

State Institution «National Research Institute of Industrial safety and health», Kyiv, Ukraine

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE INDEXES OF EVALUATION OF OCCUPATIONAL INJURIES IN THE COAL INDUSTRY

Досліджено тенденції змін показників оцінювання виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі, побудовано трендові моделі і розраховано їх короткострокові прогнозні значення.

Побудовано математичні багатofакторні моделі, які описують залежність показників оцінювання виробничого травматизму від обсягу видобутку вугілля, діяльності або бездіяльності роботодавця щодо створення безпечних умов праці, рівня справності обладнання, робота на якому призвела до нещасних випадків з тяжким наслідком, та інших факторів. Визначено фактори, що найбільше впливають на рівень виробничого травматизму у вугільній галузі.

Ключові слова: математична модель, множинна регресія, показники оцінювання виробничого травматизму.

Исследованы тенденции изменений показателей оценивания производственного травматизма на предприятиях угольной отрасли и определены их краткосрочные прогнозные значения.

Построены математические многофакторные модели, которые описывают зависимость показателей оценивания производственного травматизма от объемов добычи угля, деятельности или бездеятельности работодателей по созданию безопасных условий труда, уровня исправности оборудования, работа на котором привела к несчастным случаям с тяжелыми последствиями, и других факторов. Определены факторы, которые существенно влияют на уровень производственного травматизма в угольной отрасли.

Ключевые слова: математическая модель, множественная регрессия, показатели оценивания производственного травматизма.

It were investigated the changes of trend parameters of evaluation of occupational injuries on enterprises of the coal industry and their shot-term forecast values were calculated.

The mathematical multivariate models which describe the dependence of the estimates of occupational injuries in coal production, activity or inactivity of employers to create safe working conditions, level of good condition of equipment, which led to accidents with severe consequences and other factors, were built. The most affect factors were determined.

Key words: mathematical model, multiple regression, indexes of evaluation of occupational injuries.

Постановка проблеми. Однією з основних проблем вугільної промисловості у всіх країнах світу є високий рівень виробничого травматизму. В Україні реєструється надзвичайно високий рівень виробничого травматизму у вуглевидобувній галузі, який значно вищий ніж у передових вугледобувних країнах світу. Відносна кількість травмованих у вугільній галузі у 2000–2013 роках становила 35–40 % від загальної кількості травмованих у країні. Вирішення цієї проблеми ускладнюється численними порушеннями технологічної і виробничої дисципліни на багатьох шахтах, недоліками в організації державного нагляду за безпечним веденням гірничих робіт на вуглевидобувних

підприємствах усіх форм власності. Адже майже 96 % шахт працюють понад 20 років без реконструкції, понад 50 % машин і устаткування для видобутку вугілля повністю зношені. Наукові дослідження, що проводяться з метою зниження рівня виробничого травматизму в галузі, характеризуються різноманітністю підходів і методичного апарату досліджень та в основному спрямовані на поглиблений аналіз причин і подій настання нещасних випадків з тяжким і смертельним наслідком та розроблення заходів щодо їх попередження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у вирішення питання безпеки праці на вуглевидобувних підприємствах зробили такі вчені, як В.Ю. Дерев'янський, Ю.С. Любовський [1], О.Е. Кружилко, К.Н. Ткачук [2], Т.Н. Митрофанова [3], В.В. Чигарьов [4], М.Б. Льовкін [5], А.С. Єсипенко [6] та інші. Отже, проблема безпеки праці на підприємствах вугільної галузі залишається актуальною і потребує подальшого її розвитку в теоретичних і практичних аспектах.

Метою роботи є визначення тенденцій змін показників оцінювання виробничого травматизму і побудова математичних моделей, які встановлюють залежність показників оцінювання виробничого травматизму від множини факторів, що призводять до настання нещасних випадків на підприємствах вугільної галузі.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості використовували статистичні дані щодо обсягу видобутку вугілля, кількісні та якісні показники виробничого травматизму, отримані за допомогою аналізу матеріалів спеціального розслідування нещасних випадків на виробництві з тяжким та смертельним наслідком за 2006–2013 рр. Робота виконувалась з використанням теоретичних, експериментальних методів досліджень і багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу.

Аналіз даних про стан безпеки праці на підприємствах вугільної галузі за 2006–2013 роки дозволив встановити тенденцію до зменшення абсолютних показників виробничого травматизму в галузі. В 2013 році рівень загального травматизму на підприємствах вугільної промисловості знизився на 13,8 %, а смертельного – на 17,4 %. Зниження рівня виробничого травматизму в 2013 році, як і в попередні роки, спостерігалось на тлі зменшення кількості працюючих у вугільній галузі при зростанні обсягу видобутку вугілля. Так, на 1 млн тонн видобутого вугілля у 2012 році травмувалось майже в шість разів, а загинуло майже в три рази менше шахтарів, ніж у 2000 р. Дослідження динаміки змін обсягів видобутку вугілля в Україні за період 2000–2013 роки вказують на коливання показників видобутку вугілля в межах 75–84 млн т у рік у 2000–2008 роках, а починаючи з 2009 року – на стійку тенденцію до збільшення обсягів його видобутку. Загальну тенденцію змін обсягів видобутку вугілля відображає параболічне рівняння тренду (1):

$$y = 0,565t^2 - 3,982t + 82,625. \quad (1)$$

Точковий прогноз обсягу видобутку вугілля на 2014 рік, розрахований за рівнянням тренду (1), за умови, що визначена тенденція змін обсягу видобутку вугілля попередніх років зберігалась б у 2014 році, міг становити у 2014 – 92,59, а інтервальний – 84–101,18 млн т вугілля.

Основними показниками оцінювання стану охорони і безпеки праці на підприємствах вугільної галузі є коефіцієнт частоти ($K_{\text{ч}}$), який характеризує кількість нещасних випадків, що приходить на 1000 працюючих за певний проміжок часу, і коефіцієнт тяжкості травматизму ($K_{\text{т}}$), який оцінює середню тривалість непрацездатності, що приходить на один нещасний випадок, і визначається за формулою $K_{\text{т}} = \frac{D}{H}$, де D – загаль-

льна кількість робочих днів, втрачених внаслідок нещасних випадків; H – кількість нещасних випадків, що призвели до втрати працездатності.

З метою прогнозування розвитку показників оцінювання виробничого травматизму у часі визначили загальну тенденцію їх змін. Найбільш повно тенденцію змін коефіцієнта частоти виробничого травматизму за період 2006–2013 роки відображає лінійне рівняння тренду $Y = -1t + 18,7$, де Y – коефіцієнт частоти виробничого травматизму.

Оцінка статистичних характеристик свідчить про правильний підбір рівняння тренду коефіцієнта частоти виробничого травматизму до вихідних даних, достатньо високу адекватність рівняння, яке описує тенденції, що склалися: кореляційне відношення (коефіцієнт парної кореляції) становить 0,983, середня помилка апроксимації – 2,51 %. Точковий прогноз коефіцієнта частоти виробничого травматизму для вугільної галузі на 2014 рік, розрахований за рівнянням тренду, становить 9,7, а інтервальний прогноз – 8,8–10,6. Відповідно до статистичних даних за 9 місяців 2014 року коефіцієнт частоти виробничого травматизму для вугільної галузі становив 9,1.

Загальну тенденцію змін коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму найбільш повно відображає поліноміальне рівняння тренду третього ступеня (2), а точність вибору рівняння тренду підтверджує висока оцінка статистичних характеристик і коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9151$:

$$Y = -0,1213t^3 + 1,3786t^2 - 3,843t + 35,852. \quad (2)$$

Підсумовуючи викладене, можна зазначити, що в 2014 році, за умови збереження тенденції попередніх років, можливо було б очікувати зростання обсягу видобутку вугілля на тлі подальшого зменшення як виробничого травматизму, так і тяжкості травм.

Для можливості надання науково обґрунтованих висновків стосовно адекватності заходів запобігання виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі були проведені дослідження за допомогою математичних методів і моделей, які дозволили виявити найбільш значущі фактори й оцінити ступінь впливу кожного із введених у модель факторів на показники оцінювання виробничого травматизму у вугільній галузі. У загальному вигляді математична модель має вираз: $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, де Y – результативна ознака-функція; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – факторні ознаки.

Вивчення літературних джерел вказує на те, що для аналізу виробничого травматизму використовуються методи, засновані на визначенні традиційних показників травматизму, а саме: причин, подій, професій, устаткування тощо. При цьому треба зауважити, що вказані показники не дають достатньої інформації щодо причин травм і аварій, пов'язаних з діяльністю або бездіяльністю роботодавця, так і поведінкою персоналу на час настання нещасного випадку. Визначення впливу зазначених факторів на рівень виробничого травматизму і встановлення сукупності особистісних характеристик робітника і роботодавця, які впливають на безпеку праці на виробництві, дозволить запобігти нещасним випадкам на виробництві. Такими особистісними характеристиками можуть бути для працівника – мотивація, кваліфікація, дисципліна, а для роботодавця – відповідальність тощо. Визначення показників, що характеризують діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці, а також діяльність або бездіяльність як роботодавця, так і працівника щодо дотримання трудової та виробничої дисципліни, проводили за розробленою методикою оцінювання. Залежність коефіцієнта частоти виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі від множини факторів найбільш повно описує математична модель коефіцієнта частоти ($Y_{Kч}$):

$$Y_{Kч} = 38,93 - 0,12 \cdot X_1 - 0,14 \cdot X_2 - 0,21 \cdot X_3, \quad (3)$$

де X_1 – діяльність або бездіяльність як роботодавця, так і працівника щодо дотримання трудової та виробничої дисципліни;

X_2 – діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці;

X_3 – обсяг видобутого вугілля, млн т.

Для визначення зв'язку показників, що впливають на коефіцієнт тяжкості виробничого травматизму, було побудовано математичну багатофакторну модель, що встановлює залежність кількості робочих днів, втрачених внаслідок нещасних випадків для випадків із втратою працездатності на один робочий день і більше, від множини факторів. Цей зв'язок можна визначити за рівнянням регресії вигляду (4; 5):

$$K_T = \frac{D}{H} = \frac{F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)}{H}, \quad (4)$$

$$D = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n), \quad (5)$$

де D – результативна ознака (загальна кількість днів непрацездатності);

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – факторні ознаки,

H – кількість нещасних випадків.

Математична модель загальної кількості днів непрацездатності з урахуванням факторів, що впливають на результативну ознаку, має такий вираз:

$$D = 40,54 + 2,76 \cdot X_1 - 0,75 \cdot X_2 - 4,53 \cdot X_3, \quad (6)$$

де X_1 – обсяг видобутого вугілля, млн т;

X_2 – діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці;

X_3 – рівень справності обладнання, робота на якому призвела до нещасних випадків з тяжкими наслідками.

Виходячи з викладеного, коефіцієнт тяжкості визначали за формулою (7):

$$K_T = \frac{D}{H} = \frac{40,54 + 2,76 \cdot X_1 - 0,75 \cdot X_2 - 4,53 \cdot X_3}{H}. \quad (7)$$

Перевірка отриманих моделей на адекватність була проведена за допомогою оцінювання внеску показників у регресійну модель, t-критеріїв, F-критерію Дарбіна-Уотсона.

Значення коефіцієнтів детермінації для (3) і (6) рівнянь дорівнювало 0,96 і 0,861 відповідно, що свідчить про те, що побудовані регресії пояснюють більш ніж на 96 % і 86 % відповідно дисперсії коефіцієнта частоти і показника, що характеризує загальну кількість днів непрацездатності виробничого травматизму у вугільній галузі. Коефіцієнти кореляції мають досить велике значення, що свідчить про існування тісного лінійного зв'язку між незалежними показниками і залежною змінною.

Оцінювання значимості рівнянь множинної регресії здійснювали за допомогою перевірки гіпотези щодо рівності нулю коефіцієнта детермінації, розрахованого за даними генеральної сукупності: R^2 або $b_1 = b_2 = \dots = b_m$ (гіпотеза щодо незначимості рівняння регресії, розрахованого за даними генеральної сукупності). Для її перевірки використовували F-критерій Фішера. При цьому розраховували фактичне значення F-критерію, через коефіцієнт детермінації R^2 , за даними спостереження.

За таблицями розподілу Фішера-Снедекора визначали критичне значення F-критерію ($F_{кр}$). Для цього задавались рівнем значимості α (0,05) і двома числами ступенів свободи $k_1 = m$ і $k_2 = n - m - 1$. Табличне значення при ступенях свободи $k_1 = 3$ і $k_2 = n - m - 1 = 8 - 3 - 1 = 4$, $F_{кр}(3;4) = 6,59$. Якщо $F < F_{кр} = F_{\alpha; n-m-1}$, то немає підстав для відхилення гіпотези H_0 .

$$F = \frac{R^2(n-m-1)}{(1-R^2)m} = \frac{0,861(8-3-1)}{(1-0,861)3} = 8,23. \quad (8)$$

Оскільки фактичне значення $F_{\text{фак.}} (8,23) > F_{\text{кр}} (6,59)$, то коефіцієнт детермінації статистично значимий і модель є адекватною.

У зв'язку з тим, що значення коефіцієнта детермінації, яке близько до одиниці, не є запорукою високої якості рівняння регресії, доцільно було перевірити гіпотезу стосовно автокореляції залишків. З цією метою була застосована статистика Дарбіна-Уотсона DW , яка визначає верхню і нижню межу значущості статистики DW . Критичні значення статистики DW залежать від рівня значущості, обсягу вибірки n та кількості пояснюючих змінних m . Критичні значення статистики DW визначали на основі спеціальних таблиць для рівня значимості $\alpha = 5\%$, кількості спостережень $n = 8$ і кількості змінних $m=3$. Автокореляція відсутня, якщо виконується така умова: $d_1 < DW$ і $d_2 < DW < 4 - d_2$, підставляючи значення d_1 і d_2 , маємо $0,82 < 2,15$ і $1,75 < 2,15 < 4 - 1,75$. Для побудованих моделей $DW = 2,15$ і $2,16$, тобто $1,5 < 2,15 < 2,5$, що свідчить про відсутність автокореляції залишків.

Висновки. Побудовано математичні моделі показників оцінювання виробничого травматизму у вугільній галузі. Встановлено, що найбільший вплив на показники оцінювання виробничого травматизму мають фактори, що характеризують діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці, рівень справності обладнання, робота на якому призвела до нещасних випадків з тяжкими наслідками, і обсяг видобутого вугілля. Отримані дані будуть використані для розроблення стратегії і подальшого удосконалення профілактичних заходів, як базова основа для прогнозування виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі. Перспектива подальших досліджень вбачається у виявленні інших факторів, що сильно впливають на рівень виробничого травматизму з метою формалізації узагальнених показників у вигляді математичних моделей для оптимізації безпеки праці на підприємствах вугільної галузі.

Список використаних джерел

1. Деревянський В. Ю. Прогноз травматизма на шахтных ленточных конвейерах / В. Ю. Деревянський, Ю. С. Любовський // Уголь Украины. – 2007. – № 3. – С. 34–35.
2. Кружилко О. Е. Побудова і дослідження математичної моделі коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості / О. Е. Кружилко, К. Н. Ткачук, А. І. Полукаров // Проблеми охорони праці в Україні. – К. : ДУ «ННДІПБОП», 2012. – Вип. 22. – С. 27–31.
3. Митрофанова Т. Н. Научное обоснование методики прогноза и способов профилактики травматизма на горных предприятиях Северо-Западного региона : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.26.01 «Охрана труда» / Т. Н. Митрофанова. – СПб., 2002. – 23 с.
4. Чигарьов В. В. Методологічні аспекти прогнозування виробничого травматизму / В. В. Чигарьов, С. В. Шапошникова, Т. Г. Данилова // Вісник Приазовського державного технічного університету. – Маріуполь : ПДТУ, 2006. – Вип. № 16. – С. 256–261.
5. Льовкін М. Б. Закономірності впливу різних факторів на аварійність та травматизм у вугільних шахтах / М. Б. Льовкін // Проблема охорони праці в Україні : зб. наук. пр. – К., 2002. – Вип. 6. – С. 17–23.
6. Єсипенко А. С. Оцінка стану і проблеми промислової безпеки та охорони праці в ризико-небезпечних галузях економіки України / А. С. Єсипенко, Т. М. Таїрова, О. А. Сліпачук. – К. : ДУ «ННДІПБОП», 2014. – 64 с.
7. Охрана труда: человеческий фактор и государственный контроль. – К. : ННИИПБОП, 2008. – 118 с.

УДК 628.4

В.А. Крупко, аспірант

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДУ ОЧИСНИХ СПОРУД**В.А. Крупко**, аспирант

Черниговский государственный институт экономики и управления, г. Чернигов, Украина

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**Vitalii Krupko**, PhD student

Chernihiv State Institute of Economics and Management, Chernihiv, Ukraine

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF TREATMENT FACILITIES SLUDGE DISPOSAL

Розглянуто питання нераціонального використання земель – захоронення відходів від очисних споруд, а саме осаду активного мулу з аеротенку. З кожним роком об'єм осаду зростає, а наявні мулові майданчики не в змозі прийняти весь об'єм, тому значна територія землі, яка використовується під захоронення відходів, постійно збільшується, таким чином завдається велика шкода навколишньому середовищу. Застарілі методи утилізації та переробки осаду стічних вод негативно впливають на економіку підприємств. Проаналізовано сучасні методи утилізації осаду, що утворюється під час біологічного очищення стічних вод. Виявлено переваги та недоліки кожного з розглянутих методів з метою вибору оптимального варіанта в умовах Чернігівської каналізаційно-очисної станції.

Ключові слова: утилізація, очищення, осад стічних вод, добрива, дорожнє будівництво.

Рассмотрен вопрос нерационального использования земель – захоронение отходов от очистных сооружений, а именно осадка активного ила из аэротенка. С каждым годом объем осадка растет, а существующие иловые площадки не в состоянии принять весь объем, поэтому значительная территория земли, используемой под захоронение отходов, постоянно увеличивается, таким образом наносится большой вред окружающей среде. Устаревшие методы утилизации и переработки осадка сточных вод негативно влияют на экономику предприятий. Проанализированы современные методы утилизации осадка, образующегося при биологической очистки сточных вод. Выявлены преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов с целью выбора оптимального варианта в условиях Черниговской канализационно-очистной станции.

Ключевые слова: утилизация, очистка, осадок сточных вод, удобрения, дорожное строительство.

The paper addresses the issue of unsustainable land use - disposal of waste treatment facilities, namely sediment sludge from the aeration tank. Every year the amount of sediment increases and the existing sludge sites are not able to take the whole amount as a large area of land used for waste disposal is increasing, thus inflicted great damage the environment. Old methods of processing and recycling of sewage sludge adversely affects the economy enterprises. Given the literature, there are several ways to solve this issue. Modern methods of recycling sludge formed during biological wastewater treatment. Advantages and disadvantages of each of these methods in order to choose the best option in terms of Chernihiv sewage treatment plant.

Key words: recycling, purification, sewage sludge, fertilizers, road construction.

Постановка проблеми. Ресурси Землі – одне з найцінніших багатств людства, але сучасне нераціональне використання земельного ресурсу подекуди призводить до порушення якісного складу землі. До нераціонального використання земель можна віднести захоронення відходів від очисних споруд, а саме осаду активного мулу, який використовують в аеротенках. Накопичення великого об'єму осаду стічних вод (ОСВ) – актуальна проблема населених пунктів та промислових підприємств України. Об'єм осаду каналізаційно-очисних споруд (КОС) безперервно збільшується, і необхідно проводити дослідження, щоб зменшити території для зберігання цього осаду, представленого на рис. 1.



Рис. 1. Осад з аеротенку, підготовлений до транспортування на муловий майданчик

Наявність великої кількості мінеральних та токсичних сполук (зокрема, важкі метали) обумовлює обмежене використання та неефективність утилізації осаду стічних вод. Тому проблема переробки осаду стічних вод на вторинні матеріали (що дозволить зменшити території земель, які використовуються комплексом очисних споруд) як в Україні, так і у світі є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують [1–6] дослідження щодо розроблення методів утилізації осаду: захоронення, використання в різних галузях промисловості, використання як добрива, спалювання. Але на сьогодні відбувається затримка впровадження у виробництво, донині не вирішена основна методика утилізації та переробки осаду стічних вод. З кожним роком об'єм осаду зростає, а наявні мулові майданчики не в змозі прийняти весь об'єм, тому значна територія землі, яка використовується під захоронення відходів, постійно збільшується, таким чином завдається велика шкода навколишньому середовищу щодо унеможливлення в майбутньому використання земель, що підпадають під захоронення відходів.

Мета статті – аналіз сучасних методів утилізації осаду, що утворюється під час біологічного очищення стічних вод з метою вибору оптимального рішення з утилізації та переробки осаду з позицій економічних та екологічних показників.

Виклад основного матеріалу. Наявні системи обробки осаду на комплексах очисних споруд включають у себе ущільнення, зневоднення та складування на відкритих мулових майданчиках для зневоднення, що призводить до забруднення підземних вод, повітряного басейну і взагалі викликає явище «парникового ефекту» [1]. Основним фактором несприятливої екологічної ситуації на територіях з забрудненим ґрунтами є: надходження їх в атмосферне повітря за рахунок видудання часток забруднених речовин з поверхні ґрунту та перенос їх повітряним потоком; надходження розчинних хімічних сполук з забруднених масивів у природні води та їх подальше розповсюдження [6]. Застарілі методи утилізації та переробки осаду стічних вод негативно впливають на економіку підприємств. З огляду на літературні джерела є декілька шляхів вирішення цього питання. Традиційний підхід – це використання мулових майданчиків для захоронення осаду стічних вод. Причому цей осад містить багату складову, зольність сирих осадів становить у середньому 25–40 %, а зольність надлишкового мулу – 25–30 %. Органічна складова надлишкового мулу містить до 50 % білків, 30 % жирів та до 10 % вуглеводнів. До складової органічної частини сирих осадів входить приблизно в два рази менше білків, але в 2,5–3 рази більше вуглеводнів, слід зазначити також велику бактеріальну забрудненість осадів та наявність у них значної кількості яєць гельмінтів [1].

Розглядається можливість перетворення осаду в комплексне добриво знешкодженням осаду стічних вод в умовах біосульфідогенезу при дисиміляційному відновленні малорозчинних сульфатів. Отримані результати узгоджуються з експериментальними даними, відповідними динаміці вихідного із біореактора біогенного газу. За характером зміни кінетики виходу біогенного сірководню, зміни концентрації ацетату і швидкості поглинання сульфатів можна здійснювати прогноз процесу біосульфідогенезу та знаходити найбільш оптимальні параметри системи. Це вказує на можливість його використання в біотехнології знешкодження осаду стічних вод з отриманням комплексного органо-мінерального добрива [2].

Існує певний досвід використання осадів у дорожньому будівництві. Результати натурних досліджень експериментальних асфальтобетонних покриттів, модифікованих техногенними відходами (осадам стічних вод), свідчать про високу їх якість, не поступаючись своїми показниками покриттю з традиційного асфальтобетону [3]. Оцінюючи технології утилізації осаду стічних вод, можна зазначити, що альтернативною є технологія утилізації ОСВ в органо-мінеральний порошок з подальшим залученням отрима-

ного на його основі асфальтобетону в дорожньому будівництві, за економічними та екологічними показниками переважає метод термічної утилізації [4].

На рис. 2 згідно з розглянутою публікацією проаналізовано ситуацію на прикладі м. Чернігова і порівняно об'єми зневодненого до 74 % осаду, який утворюється на мулових майданчиках та вивозиться як добриво на колгоспні поля і загальний об'єм накопиченого осаду [5].

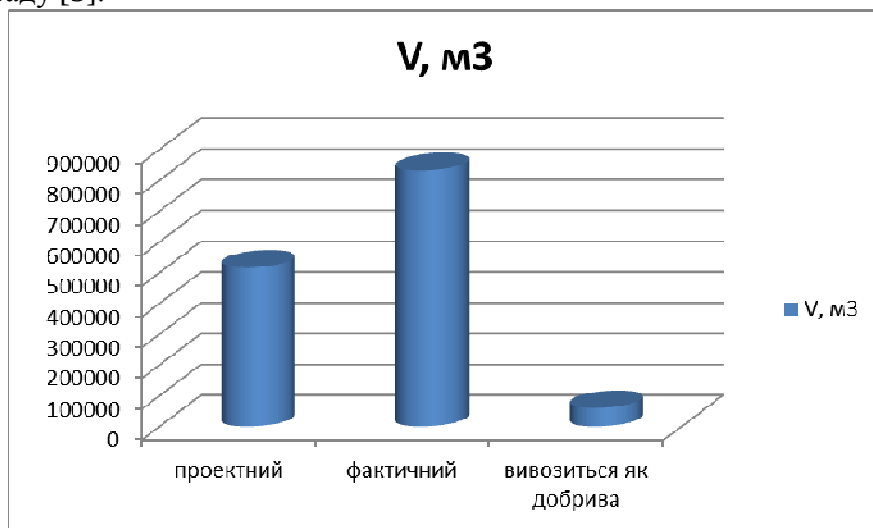


Рис. 2. Накопичення осаду на КОС м. Чернігів [5]: проектний, фактичний і використання як добрива

Розглядається також можливість вирішення екологічної утилізації відходів з метою одержання регуляторів росту рослин за допомогою метанового зброджування. Ці регулятори спроможні викликати в організмі рослини зміни в обміні речовин, керувати їх ростом і розвитком [6].

Доходимо висновку, що серед розглянутих напрямів утилізації останнім часом поширеного використання набирає спалювання – один з радикальних методів утилізації осаду. Раніше метод спалювання затримувала висока вологість осаду (понад 70 %). Нині використання новітніх сушарок для підсушеного осаду на мулових майданчиках вологістю 60–70 % дозволяє зменшити його вологість до 25 % і нижче. Таким чином, через метод новітнього способу спалювання осаду в турбосушарках можна ліквідувати джерело парникового ефекту, яке виникає при застарілій технології утилізації методом зневоднення осаду на мулових майданчиках, отримання альтернативного джерела теплової та електричної енергії. При такій потужній термічній обробці в 13 разів зменшується обсяг зневодненого осаду (з 15,6 т/год до 1,2 т/год), а 90 % попелу може бути використано в цементній промисловості, виробляється приблизно 1,5 МВт/год електроенергії і 35000,0 Гкал/рік теплової енергії [1]. У літературних джерелах недостатня увага приділяється показникам матеріалу, який утворюється після термообробки осаду, а це є важливим фактором щодо якості дорожнього покриття.

Огляд літературних джерел щодо утилізації відходів біологічного очищення стічних вод виявляє три основні напрями, представлені на рис. 3.

Кожний вказаний напрям має певні переваги, але потребує додаткових досліджень для вибору оптимального варіанта для певної КОС, зокрема, Чернігівської КОС, серед вказаних завдань досліджень залишаються актуальними:

- дослідження щодо токсичності розчину, який утворюється внаслідок потрапляння атмосферних опадів на мулові майданчики, і поширюється у довкіллі;
- дослідження властивості матеріалу, що утворюється після термічної обробки осаду і планується до використання у будівництві;

– дослідження властивостей локального осаду (який відрізняється для різних КОС залежно від діяльності підприємств – користувачів системи водовідведення) з метою виявлення доцільності його використання в сільському господарстві як добрива з використанням спеціальної обробки або без неї.



Рис. 3. Основні напрями утилізації осаду з аеротенку

Висновки і пропозиції. Проаналізовано сучасні методи утилізації осаду, що утворюється під час біологічного очищення стічних вод. Виявлено три основні напрями, що мають переваги, недоліки і невирішені питання, які потребують додаткових досліджень для вибору оптимального варіанта:

- зберігання на мулових майданчиках осаду нині залишається основним напрямом утилізації відходів біологічного очищення стічної води, але потребує уваги проведення дослідження щодо токсичності розчину, який утворюється внаслідок потрапляння атмосферних опадів на мулові майданчики;

- найближчим до практичного впровадження є метод термічної обробки, який за економічними та екологічними показниками має переваги, зокрема за рахунок методу можна: а) виробляти електричну та теплову енергію; б) утворений внаслідок потужної термообробки порошок доцільно використовувати у дорожньому будівництві як домішки в асфальтобетон. Але потребують досліджень властивості матеріалу, що утворюється після термічної обробки осаду з аеротенку, а саме це і є важливим чинником отримання якісного дорожнього покриття;

- використання осаду як добрива (звичайного, комбінованого, регуляторів росту) має переваги щодо економічності і простоти реалізації в сільському господарстві, але потребує уваги проведення дослідження властивостей локального осаду (який відрізняється для різних КОС залежно від діяльності підприємств – користувачів системи водовідведення).

Список використаних джерел

1. Досвід роботи КП КГ «Харківкомуночиствод» щодо утилізації осадів стічних вод з використанням технології італійських фірм VOMM ТА GEO TECK / І. В. Корінько, С. С. Піліграм, М. Д. Лессік, Г. М. Смирнова // Водопостачання та водовідведення. – 2010. – № 5. – С. 28–29.

2. Пляцук Л. Д. Математичне моделювання процесу знешкодження осаду стічних вод в біосульфідогенних умовах / Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черниш // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 37. – С. 148–160.

3. Використання осадів стічних вод в експериментальному дорожньому будівництві / Г. Я. Дрозд, Р. В. Бреус, В. В. Рогулін, І. І. Бізирка // Водопостачання та водовідведення. – 2011. – № 4. – С. 44–47.

4. Дрозд Г. Я. Оцінка технологій утилізації осадів стічних вод / Г. Я. Дрозд, В. В. Рогулін // Водопостачання та водовідведення. – 2011. – № 4. – С. 38–43.

5. Шкінь О. М. Технічні проблеми при дотриманні законодавчих вимог. Економічні аспекти водовідведення / О. М. Шкінь // IWAS – міжнародна конференція. «Українсько-німецьке партнерство у галузі водного господарства – завдання для науки і практики» (15-16.12.2008 р.). – Івано-Франківськ, 2008. – С. 35.

6. Безвідходна технологія очищення стічних вод виробництво амінокислот / О. В. Гайдаржи, Л. В. Левандовський, Г. М. Заболотна, Г. С. Андріяш // Збірка тез XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (18-22 травня 2010 р.). – К., 2010. – С. 43-44.

УДК 541.135

О.Г. Лінючев, аспірант

Ю.С. Мірошниченко, аспірант

О.В. Лінючева, д-р техн. наук

М.Д. Гомеля, д-р техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

АПАРАТНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ХЛОРОМ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА

А.Г. Линючев, аспирант

Ю.С. Мирошниченко, аспирант

О.В. Линючева, д-р техн. наук

Н.Д. Гомеля, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

АППАРАТНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХЛОРОМ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Oleksandr Liniuchev, PhD student

Yuliia Miroshnychenko, PhD student

Olha Liniucheva, Doctor of Technical Sciences

Mykola Homelia, Doctor of Technical Sciences

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

HARDWARE AND TECHNICAL SUPPORT FOR DETERMINATION OF THE LEVEL OF CHLORINE IN AIR

На основі розроблених чутливих елементів, первинних перетворювачів, датчиків та мікрогенераторів створено апаратно-технічне забезпечення для моніторингу повітряного середовища. Запропоновано суміщення в один модуль і датчика, і мікрогенератора, які забезпечуватимуть отримання даних про стан середовища виміру (ідентифікація шкідливих газових речовин). Це дозволяє дистанційно тестувати, перевіряти та тренувати пристрої, що встановлені у важкодоступних та небезпечних для знаходження людей місцях.

Ключові слова: чутливий елемент, первинний перетворювач, датчик хлору, мікрогенератор хлору, модульний блок.

На основе разработанных чувствительных элементов, первичных преобразователей, датчиков и микрогенераторов создано аппаратно-техническое обеспечение для мониторинга воздушной среды. Предложено совмещение в один модуль и датчика, и микрогенератора, которые обеспечат получение данных о состоянии среды измерения (идентификация вредных газовых веществ). Это позволяет дистанционно тестировать, проверять и тренировать устройства, которые установлены в труднодоступных и небезопасных для нахождения людей местах.

Ключевые слова: чувствительный элемент, первичный преобразователь, датчик хлора, микрогенератор хлора, модульный блок.

On the basis of the developed sensory elements, transducers, detectors and microgenerators was created the hardware and technical support for the monitoring of air. Been offered to combine in one module the sensor and the microgenerator that will provide data on the state of environment measurement (identification of harmful gaseous substances). This allowing remotely to test, to verify and to coach the devices that are installed in remote and insecure areas for people.

Key words: sensory element, transducer, detector of chlorine, microgenerator of chlor, module.

Постановка проблеми. Збільшення антропогенного впливу на навколишнє середовище висуває на перший план загальнодержавні проблеми, на тлі яких здійснюється прогнозування екологічних ситуацій та охорона довкілля. В питаннях екологічної безпеки особливо важливим є управління та прийняття обґрунтованих рішень, які ґрунтуються на детальному аналізі об'єктів управління і прогнозуванні їх стану. Для проведення таких досліджень використовуються методи вимірювання параметрів навколишнього середовища із зазначеними метрологічними даними, які дозволяють визначати кількісно та якісно характеристики газових викидів в атмосферу, причому інструментальні методи є головуючими. В інструментальних вимірюваннях застосовуються лише газоаналітичні пристрої для контролю промислових викидів, які внесені до Держреєстру.

Забруднювачами повітряного середовища є домішки промислового походження, які переважно є електрохімічно активними газами, що створює передумови для визначення їх вмісту інструментальними пристроями (чутливими елементами, первинними перетворювачами, датчиками), які під впливом визначуваних газів генерують електричний сигнал, що, у свою чергу, спрощує реєстрацію, збереження, оброблення та передачу оперативної інформації. Враховуючи багатокілометрову протяжність мультиканальних ліній і розміщення пристроїв у важкодоступних та небезпечних для перебування людини місцях, нагальною є потреба в усуненні необхідності виїзду персоналу для тестування і перевірки датчиків, оскільки такі операції проводяться щонайменше раз на місяць при гарантованому терміні експлуатації не менше року.

З метою скорочення експлуатаційних витрат на метрологічне забезпечення датчиків необхідним є застосування генератора газу замість балонних систем газових сумішей або суміщення в один блок-модуль і датчика, і мікрогенератора. Така ідея дозволить дистанційно тестувати, перевіряти та тренувати пристрої і на їх основі створити апаратно-технічне забезпечення по визначенню рівня забруднення повітряного середовища токсичними газами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вирішення комплексних задач щодо охорони навколишнього середовища, техніки безпеки й управління технологічними процесами промислових підприємств ґрунтується на постійному аналітичному контролі багатьох об'єктів, включаючи повітряне середовище. Ефективність таких задач визначається надійністю, швидкістю, дешевизною та простотою експлуатації засобів контролю, таких як газоаналізатор. Газоаналізатори на основі хімічних датчиків (ХД) відносяться до розгалуженої групи аналітичних приладів, що активно розвивається. Дія ХД заснована на різних фізико-хімічних і біологічних принципах, проте переважна більшість ґрунтується на електрохімічних первинних перетворювачах (ЕПП) [1]. Це обумовлено електрохімічною активністю газових домішок індустріального походження. Саме тому вирішення проблеми екологічної безпеки нерозривно пов'язане з надійністю та оперативністю потокової інформації, отриманої за допомогою ХД, щодо хімічного складу повітряного середовища. За визначенням ІЮПАК, ХД – це первинні датчики, які селективно реагують на зміну хімічного складу навколишнього середовища з формуванням відгуку у вигляді оптичного, електричного чи іншого сигналу [2].

Виробництво високотоксичного хлору та його використання в різноманітних галузях промисловості висунули в число актуальних задач створення апаратно-технічного забезпечення для визначення концентрації хлору в атмосферному повітрі та інших газових середовищах. Усі системи моніторингу атмосферного повітря ґрунтуються на пристроях, апаратах, елементах, що забезпечують отримання даних про стан середовища вимірювання, зокрема, ідентифікацію шкідливих речовин (чутливі елементи, первинні перетворювачі, датчики, генератори, побудники витрат газу, газоаналізатори), їх

концентрацію, метрологічні характеристики та метеорологічні показники визначуваної області [3].

У світовій практиці деякі приладобудівні фірми газоаналітичного профілю мають власні виробництва окремих ХД, але сучасна тенденція полягає у створенні спеціалізованих по виготовленню чутливих елементів фірм, які постачають датчики приладобудівникам. Найбільш потужними з таких фірм є City Technology (Англія) [4] з річним випуском понад мільйон датчиків, Sensoric (Німеччина) [5], Dräger (Німеччина) [6] та OLDHAM (Франція) [7], які випускають різнотипні датчики обмеженого діапазону та асортименту.

Ефективність використання ХД значною мірою визначається надійністю та доступністю технічних засобів щодо їх метрологічного забезпечення. На сьогодні метрологічне забезпечення газоаналітичних приладів здійснюється за допомогою балонних повірочних газових сумішей, автоматичних установок змішування газів, прицевійних приладів змішування газів для градування з їх допомогою робочих приладів, газових сумішей-еквівалентів для нестабільних градувальних та повірочних сумішей. Крім того, використовуються автоматичні аналізатори з вмонтованими блоками перевірки з використанням негазових фізичних еквівалентів аналізованого середовища, компаратори для звірення та атестації установок змішування газів різного класу точності [8].

Перевірка газоаналізаторів за стандартними зразками чи газовими сумішами трудомістка та дорога. У деяких випадках використовують імітатори газових сумішей [9; 10], проте найбільш надійними та універсальними залишаються перевірочні газові суміші, до яких відносяться електрохімічні методи отримання газів. Відоме використання електрохімічних комірок для отримання заданої кількості водню та кисню і методика атестації за ними датчиків [1; 10], але маса таких пристроїв становить близько 1,5 кг і відсутні надійні методи розподілу катодних та анодних продуктів реакції.

В останніх розробках провідних газоаналітичних світових фірм (City Technology, Sensoric, Monoox) прослідковується тенденція оснащення датчиків малогабаритними джерелами газів, зокрема для водню [2; 4; 5; 11], проте немає рішень, в яких використовувався б мікрогенератор хлору для датчиків хлору, мікрогенератор сірководню для датчиків сірководню.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відсутні розробки твердотільних датчиків та мініатюрних мікрогенераторів хлору, які монтувалися б в єдиний модуль-блок і мали один типорозмір та масу (до 50 г) з уніфікованою серією датчиків НТУУ «КПІ».

Мета статі. Головною метою роботи є створення апаратно-технічного забезпечення у вигляді газового датчика і мікрогенератора та практична апробація його на блокомодулях, призначених для моніторингу хлору в повітряному середовищі.

Викладення основного матеріалу дослідження. Потреба в газоаналізаторах хлору охоплює широкий діапазон концентрацій $[Cl_2]$ – від десятків часток до десятків тисяч $mg \cdot m^{-3}$. Для контролю рівня $[Cl_2]$ у повітрі промислових приміщень потрібні пристрої з діапазоном від нуля до $3-10 mg \cdot m^{-3}$ ($\sim 9-30 ppm$), для контролю допустимого рівня хлору в установках очистки газів – до $200-500 mg \cdot m^{-3}$, для контролю технологічних процесів у виробництві кальцію, магнію, титану – до $10-20 g \cdot m^{-3}$. З цією метою можуть використовуватися стаціонарні, переносні та портативні газоаналізатори або безперервно діючі сигналізатори перевищення допустимого рівня хлору. Стаціонарні і переносні газоаналізатори зазвичай містять у собі збудник витрат газу, що дозволяє із заданою об'ємною швидкістю подавати середовище, яке аналізується, на індикаторний електрод чутливого елемента датчика. Компактність електрохімічних генераторів хлору, розроблених у НТУУ «КПІ», дозволяє включати їх до складу газоаналізаторів і безпосередньо перед

вимірюванням перевіряти калібруванням датчик. У цьому випадку похибки, обумовлені дрейфом реальної температури та вологістю середовища, зводяться до мінімуму. У такому режимі калібрування первинного перетворювача (датчика) похибка виміру визначається похибкою генератора хлору і збудником газорозбавника ($\sim \pm 8\%$).

У практичному плані первинною метою роботи було розроблення датчика хлору для створення системи виявлення аварійних викидів цього газу на територіях промислових підприємств. Ця система повинна містити розосереджені по території і цехах промислового об'єкта датчики з межею виявлення $[\text{Cl}_2]$ у повітрі нарівні $100 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ та вторинну систему збору та обробки інформації.

На основі фундаментальних і прикладних робіт, виконаних у НТУУ «КПІ», створені чутливі елементи, з подальшим апгрейдом у первинні перетворювачі і твердотільні датчики хлору амперометричного типу.

Чутливі елементи датчиків (рис. 1) являють собою таблетки діаметром 18 мм і висотою 10–12 мм, які виконані пошаровим пресуванням (при питомому тиску $4 \text{ т} \cdot \text{см}^{-2}$); у своєму складі мають індикаторний і допоміжний електроди, розділені шаром твердого електроліту. Основним критерієм вибору твердого електроліту для чутливих елементів хлору прийнята їх електропровідність.

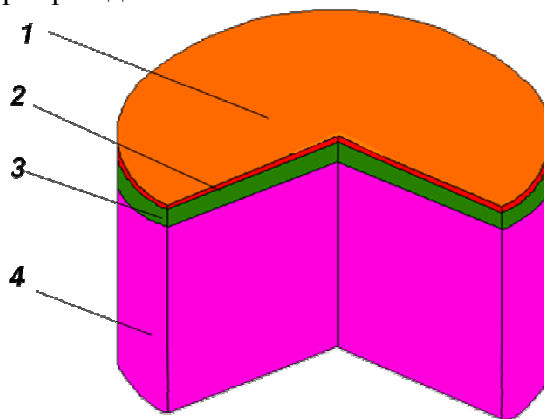


Рис. 1. Чутливий елемент датчика: 1 – індикаторний електрод; 2 – пористий титановий колектор; 3 – сепаратор; 4 – допоміжний електрод

Вимірюючи опір таблеток (чутливих елементів) і товщину шару електроліту, було розраховано значення електропровідності. Як бачимо з табл., із досліджених електролітів найбільшою електропровідністю наділені гетерополісурмяна та фосфорномолібденова кислоти, проте остання виявилась нестійкою при зберіганні в атмосферному повітрі (відбувалося розшарування таблеток).

Таблиця

Електропровідність твердих електролітів при відносній вологості повітря $70 \pm 5\%$

Найменування електроліту	Опір електроліту, Ом	Електропровідність електроліту, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$
$(\text{NH}_4)_3\text{H}_3[\text{P}(\text{Mo}_2\text{O}_7)]$	376	$3,6 \cdot 10^{-4}$
$(\text{NH}_4)_3[\text{PW}_{12}\text{O}_{40}]$	65	$2 \cdot 10^{-4}$
H_2WO_4	5600	$1,4 \cdot 10^{-5}$
$\text{H}_2\text{Zr}_2(\text{PO}_4)$	261	$6 \cdot 10^{-4}$
KH_2PO_4	520000	$3 \cdot 10^{-7}$
$\text{H}_2\text{Sb}_2\text{O}_6$	9	$1,6 \cdot 10^{-4}$

Саме тому вибір було зроблено на користь чутливого елемента на основі гетерополісурмяної кислоти ($\text{H}_2\text{Sb}_2\text{O}_6$) ($R = 9 \text{ Ом}$ і $\kappa = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$).

В атмосферному повітрі виникає періодична зміна відносної вологості до точки роси. Проведені багаторазові циклування від 70 % до 100 % і навпаки показали, що пере-

бування чутливих елементів в атмосферному повітрі міста Києва протягом трьох років не призводить до значних змін їх опору. Таким чином, добові коливання відносної вологості атмосферного повітря (25–100 %) не призводять до суттєвої зміни опору таблеток. Як електродний матеріал, для чутливого елемента обрані порошки титану, активовані оксидами кобальту, олова, сурми та їх композицій з додаванням діоксиду титану. Останній є типовим представником напівпровідників n-типу, із широкою забороненою зоною, перешкоджає протіканню анодних струмів на поверхні металевого титану. Модифікування каталітично активних домішок діоксидом титану підвищує їх корозійну стійкість, сприяє розвитку питомої поверхні каталізаторів, впливає на перенапруження електродних процесів.

На основі вищеописаного чутливого елемента розроблено первинний перетворювач для визначення концентрацій хлору в повітряному середовищі (рис. 2).

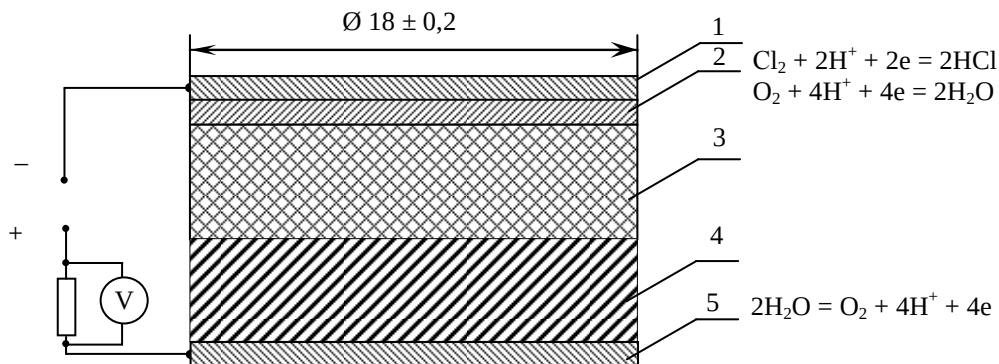


Рис. 2. Схема первинного перетворювача хлору: 1 – дифузійний опір та струмовідвід; 2 – індикаторний електрод; 3 – твердий електроліт; 4 – допоміжний електрод; 5 – струмовідвід; 6 – джерело постійного струму; 7 – резистор; 8 – мілівольтметр

Первинний перетворювач хлору, встановлений у фіксуючі прокладки зі струмовідводами з титану, що виведені на штекери, являє собою датчик (рис. 3), у якому дифузійне вікно закрито титановою сіткою з 50 % перфорацією. Між захисною сіткою та чутливим елементом вмонтовано діафрагму, яка виконує функції основної частини дифузійного опору датчика та попереджає потрапляння механічних домішок. Кріплення чутливого елемента в корпус з діелектрика здійснюється за допомогою профільного диска, герметизуючої прокладки, контактної площадки та стопорного кільця.



Рис. 3. Датчик хлору

Лабораторні дослідження датчиків впродовж трьох років показали, що в межах встановленого робочого ресурсу (3–5 мА·год) не відбуваються значні зміни метрологічних характеристик. Датчик можна експлуатувати як у дифузійному режимі, так і з примусовою подачею газової суміші.

У сучасному моніторингу навколишнього середовища широко застосовують розгалужені мережі газоаналітичних пристроїв, що дозволяє отримувати інформацію про ви-

киди шкідливих речовин на значній території на центральному пульті газоаналітичної системи, проте є складнощі в обслуговуванні і перевірці датчиків, які можуть знаходитись у важкодоступних місцях.

Другим етапом роботи було розроблення мікрогенератора (малогабаритного джерела мікропотoku газу), який входить до складу газового датчика і керується по команді з центрального пульту.

Створено мініатюрний генератор, в якому під час проходження постійного електричного струму протягом тривалого періоду безперервної роботи у широкому діапазоні струмових навантажень генерується хлор зі 100 % виходом за струмом. Такий мікрогенератор хлору зберігає працездатність при будь-якій просторовій орієнтації. У процесі виготовлення таких генераторів була застосована вже відпрацьована технологія, що була задіяна при створенні датчиків (чутливих елементів). Тобто як чутливий елемент, так і мікрогенератор являють собою пресовані циліндричної (дисковидної) форми комірки одного типорозміру ($\varnothing 18$ мм, $h=10-12$ мм) та маси (до 50 г), але з енергетичного погляду ці об'єкти є принципово різними електрохімічними системами, одна з яких є електролізером (мікрогенератор), а інша – хімічним джерелом струму (датчик). При цьому і датчик (чутливий елемент), і мікрогенератор монтуються в декількох комбінаціях різного просторового (планарного та тандемного) розміщення та становлять блок-модуль (рис. 4).

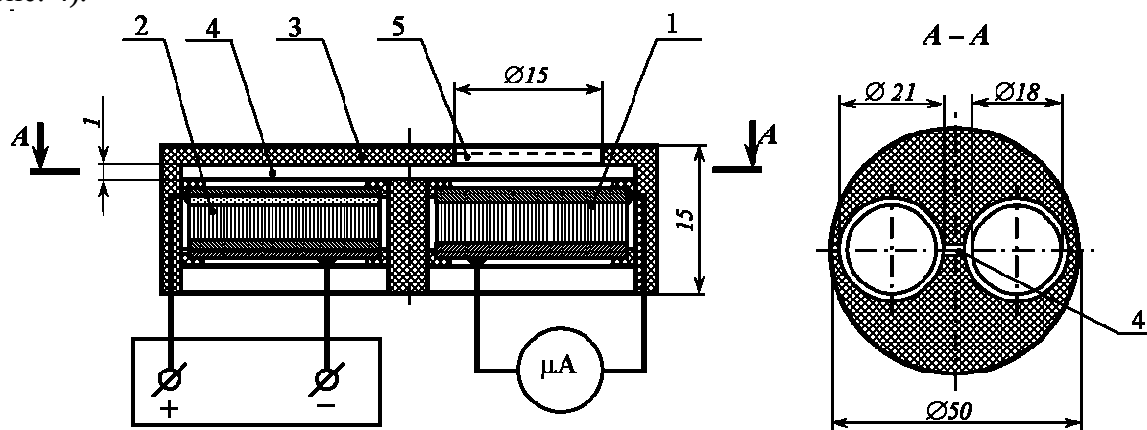


Рис. 4. Схема електрохімічного блок-модуля з планарним паралельним розміщенням сенсора та мікрогенератора: 1 – сенсор; 2 – генератор; 3 – корпус; 4 – газовий зазор; 5 – дифузійне вікно

Корпусні деталі блок-модуля виготовлені на розроблених пресформах методом лиття під тиском з пропілену. Комплекс деталей містить корпус діаметром 30 мм та висотою 24 мм, обойму з дифузійними каналами, фіксатор. Зборка деталей виконується за допомогою з'єднання типу «шип-паз» без застосування кріплення. Індикаторний електрод датчика звернений до захисно-декоративної ґратки з титанової фольги товщиною 0,2 мм. Мікрогенератор хлору встановлений співвісно до сенсора. Кільцеві титанові контакти та генератор з'єднані гнучкими дротами, що виведені на тильну сторону корпусу з маркуванням полярності «+» та «-». Захисно-декоративна ґратка та контакти з титанової фольги виготовлені методом фоторезиста.

На рис. 5 представлено І-т залежності для датчика при різних струмових навантаженнях на мікрогенераторі.

Газ (хлор), що утворюється на аноді мікрогенератора, діє на датчик та через перфоровану ґратку видаляється в атмосферу. При $I_r = 0,75$ мА час встановлення постійного значення струму датчика перевищує 1000 с. При $I_r = 1,0$ мА та $I_r = 1,5$ мА величина струму датчика стабілізується при 110 мкА та 150 мкА відповідно. Таким значенням струму в режимі подачі хлорповітряної суміші на датчик при $v_n = 20$ л·год⁻¹ відповідають концентрації хлору 100 мг·м⁻³ (33,5 ppm) та 136 мг·м⁻³ (45,6 ppm).

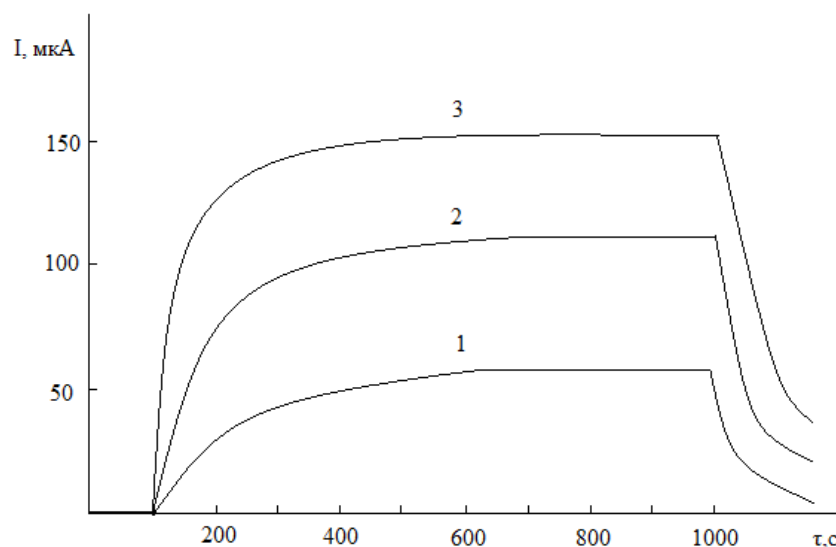


Рис. 5. Зміна вихідного сигналу датчика в часі при силі струму на мікрогенераторі хлору блок-модуля: 1 – 0,75 мА; 2 – 1,0 мА; 3 – 1,5 мА

Залежність $I = f(\tau)$ при подачі $60 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ($\approx 20 \text{ ppm}$) хлору з $v_n = 20 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$ на датчик та блок-модуль представлена на рис. 6. Як видно, величина струму датчика стабілізувалась при 8 мкА (крива 3, рис. 6), тобто у порівнянні з подачею $20 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$ саме на ґратку блок-модуля вихідний сигнал знижувався приблизно в два рази. Таким чином, дифузійний режим подачі хлору на блок-модуль вносить похибку, що характерна для всіх газоаналізаторів. У подальшому для дифузійного режиму блок-модуля прийняте нормування вихідного сигналу $0,4 \text{ мкА} \cdot \text{мг}^{-1} \cdot \text{м}^3$ при $20 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$. За такого нормування вихідний сигнал датчика хлору (I) становить 110 мкА при $I_r = 1 \text{ мА}$.

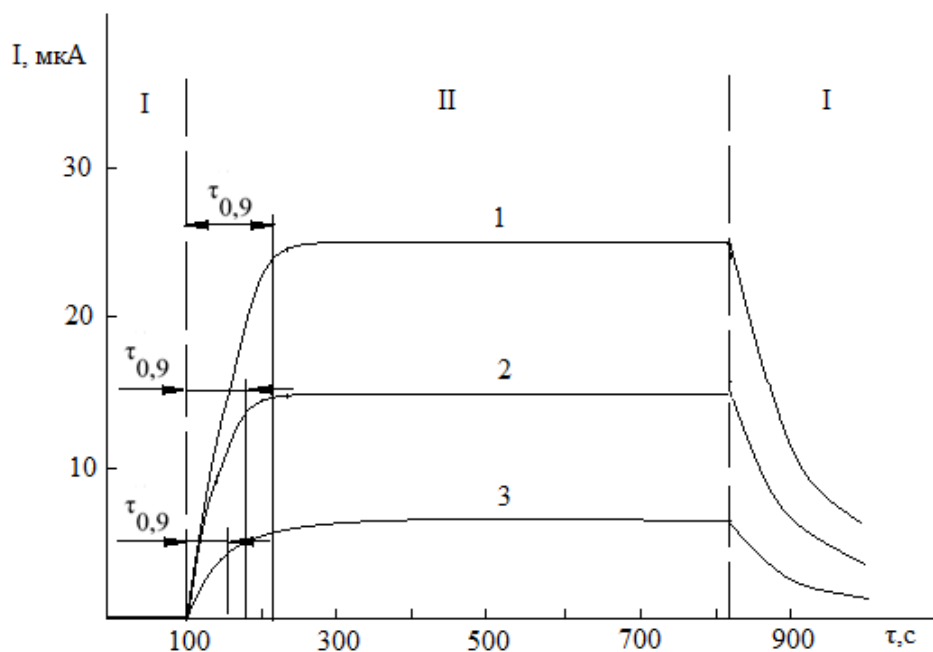


Рис. 6. Зміна сили струму датчика в часі при концентрації хлору 20 ppm: 1 – на датчик з $v_n = 20 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$; 2 – на блок-модуль з $v_n = 20 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$; 3 – на блок-модуль у дифузійному режимі; I – повітря; II – хлорповітряна суміш

Висновки

1. Обґрунтовано та практично реалізовано ідею створення чутливого елемента та на його основі твердотільного двоелектродного датчика хлору.

2. Розроблено мініатюрний генератор хлору (мікрогенератор) з ресурсом більше 7000 повірочних імпульсів, електрохімічна комірка якого складається з ОРТА-анода і катода (суміш з хлоридом срібла).

3. Визначено похибку генерування хлору (не перевищує 2 %).

4. Розроблено та виготовлено блок-модуль у складі датчика і мікрогенератора хлору з роздільними електрохімічними системами; блок-модуль може бути рекомендований для апаратно-технічного забезпечення щодо визначення концентрації токсичного газу.

Список використаних джерел

1. *Фрайден Дж.* Современные датчики : справочник / Жд. Фрайден. – М. : Техносфера, 2006. – 592 с.
2. *Чвірук В. П.* Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ / В. П. Чвірук, С. Г. Поляков, Ю. С. Герасименко. – К. : Академперіодика, 2007. – 324 с.
3. *Кальвода Р.* Электроаналитические методы в контроле окружающей среды / Р. Кальвода, Я. Зыка, К. Штулик. – М. : Химия, 1990. – 240 с.
4. *Details of Product Data Handbooks available.* CiTicels of SafetyApplications // Portsmouth. – 2009. – Issue 1-2 March.
5. *Sensoric.* Gesellschaft fuer Angewandte Electrochemie mbH. – Bonn, 2006. – Issue 02/2006.
6. *Draeger.* Газоизмерительные приборы Рас III. Третье поколение персональных газоизмерительных приборов. – Berlin, 2008. – 6 с.
7. *Oldham.* Prenosny multidetector MX 2000. – Warxsava, 2004. – 4 с.
8. *Рейман Л. В.* Техника микродозирования газов / Л. В. Рейман. – Л. : Химия, 1985. – 224 с.
9. *Датчики :* справочное пособие / под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука, Н. Д. Кошевого, Г. Г. Ишанина, И. Г. Минаева, А. С. Совлукова. – М. : Техносфера, 2012. – 624 с.
10. *Пат. 20060283707 А1* США, G01N227/26, Gas sensor array with electrochemical gas generator / U. Kuhn ; заявл. 24.04.2006 ; опубл. 21.12.2006.
11. *Каттралл Р. В.* Химические сенсоры / Р. В. Каттралл. – М. : Научный мир, 2000. – 144 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, рецензію та довідку про автора (ів), оформлені за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»». Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до відділу науково-дослідної частини ЧНТУ.

У зв'язку з включенням «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»» до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU просимо Вас звернути увагу на деякі зміни в пакеті документів.

1. Для публікації статті у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком (Додаток А);
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів, заповнену за наведеним бланком (Додаток Б). Звертаємо Вашу увагу, що ім'я та по батькові автора(ів) подаються повністю;
- квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (Додаток В);
- згоду на публікацію у формі Договору про передачу права на використання твору (бланк Договору розміщено на сайті університету).

2. Вимоги до наукової статті. Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника.

Статтю можна подавати однією з трьох мов: українською, російською, англійською. У разі подання статті українською або російською мовою **обов'язкове надання перекладу статті англійською мовою** (відповідно до п. 2.9. Наказу МОН України «Про затвердження порядку формування переліку наукових фахових видань України» від 17.10.2012 р. № 1111).

Обсяг статті повинен бути таким: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається як у роздрукованому вигляді, так і в електронному варіанті на оптичному диску CD (DVD) або надсилається електронною поштою на адресу: chntu.ndch@gmail.com. Текст статті набирається з використанням комп'ютерних текстових редакторів Word for Windows 97/2000/XP.

3. Структура статті. До друку у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: УДК. Автори. Назва наукової або освітньої установи, де працюють автори. Назва статті. Анотації. Ключові слова. **Вся інформація про автора (ів), назва статті, анотація і ключові слова подається трьома мовами: українською, російською, англійською.** Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел.

4. Параметри сторінки повинні бути такими:

Формат А4 (210×297 мм).

Поля: верхнє, нижнє та бокові – 25 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ У СТАТТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗСТАНОВКИ ПЕРЕНОСІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ СПИСКІВ. УСІ СПИСКИ ПРОСТАВЛЯЮТЬСЯ У РУЧНОМУ РЕЖИМІ!

5. Вимоги до оформлення структурних елементів статті.

5.1. УДК – шрифт Times New Roman (кегель 12), курсив, вирівнювання по лівому краю без абзацу.

Автори – *ініціали та прізвище* кожного автора починати з нового рядка (шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по лівому краю, без абзацного відступу, напівжирний), **науковий ступінь або посада, якщо немає ступеня** (шрифт Times New Roman (кегель 12), звичайний). Скорочення слід подавати згідно з ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні правила та вимоги” (наприклад: д-р екон. наук; канд. техн. наук; тис., млн, млрд; грн, дол; табл., рис. тощо). Дані про авторів подаються трьома мовами.

Назва організації – місце (я) роботи автора (-ів) (вирівнювання по лівому краю без абзацного відступу, шрифт Times New Roman (кегель 10)). Після назви організації через кому вказуються місто та країна розміщення організації (трьома мовами).

Назва статті – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу, трьома мовами.

Анотація – шрифт Times New Roman (кегель 9), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обгрунтована її актуальність (обсяг – 8-10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською (Додаток А).

Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. Ключові слова подаються трьома мовами. Кількість ключових слів – 5-7 (Додаток А).

Основний текст – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал).

Розділи статті (Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел) зазначаються таким шрифтом: Times New Roman, кегель 12, напівжирний, звичайний. Після назви розділу статті ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

5.2. Інтервали між елементами статті такі:

- УДК – автори – 1;
- автори – назва організації – 1;
- назва організації – назва статті – 2;
- назва статті – анотація – 1;
- анотація – ключові слова – 1;
- ключові слова – основний текст – 1;
- основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка) – 1;
- назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка – їхні назви) – 1;
- нижній край таблиці (назва рисунка) – основний текст – 1;
- основний текст – список використаних джерел – 1;
- список використаних джерел – перелік джерел – 1.

6. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

Рисунки і таблиці необхідно подавати у статті безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці.

6.1. Ілюстрації (рисунки та чорно-білі фотографії)

Під час виконання рисунків рекомендується використання Microsoft Visio 2007 (2003). За умови використання закладеної графіки Microsoft Word рисунки повинні бути згрупованими. Шрифт рисунків Times New Roman, кегель 12, курсив.

Рисунки позначають словом “Рис.” і нумерують послідовно в межах статті. Якщо у статті є лише один рисунок, він не нумерується. Пояснювальні підписи, номер рисунка, його назву розміщують послідовно під ілюстрацією.

Наприклад:

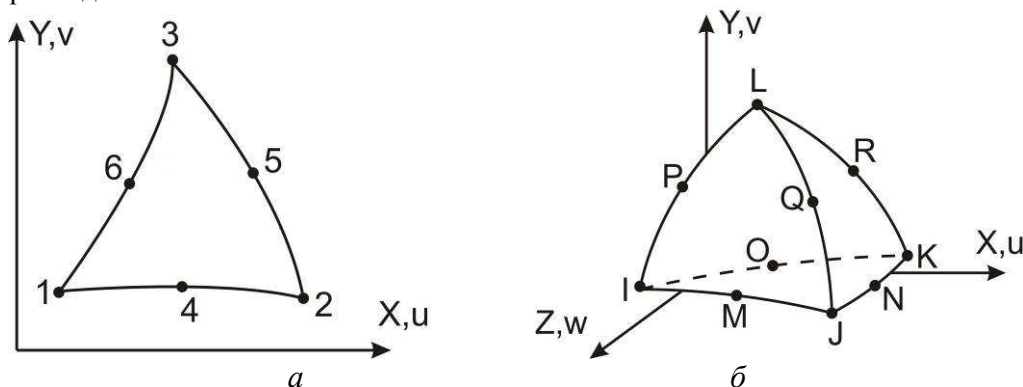


Рис. 3. Види скінченних елементів:

a – 6-вузловий плоский скінченний елемент і *б* – 10-вузловий об’ємний скінченний елемент

6.2. Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться у статті, як правило, повинен оформлятися у вигляді таблиць.

Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 12) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці (по центру, кегель 12, курсив).

Наприклад:

Таблиця 1

Граничні значення режимів різання

№ досл.	V_k , м/с	$V_{det}=V_k/60$	t , мм	$Q_{гр}$, мм ² /с	a_z , мкм	$a_{z\ max}$	$n/n_{різ}$
1	20	333	0,033	11	5,32	10,17	10/6
2	40	667	0,033	13	3,04	5,83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2,01	3,78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1,64	3,07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1,59	2,84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: “Закінчення табл. 1”.

6.3. Формули

Використовуючи формули, необхідно дотримуватися певних правил.

Великі, довгі та громіздкі формули, які мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Стиль формул: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках праворуч, не виходячи за поле. Формули необхідно вирівнювати по лівому краю сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок. Обов’язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення (a_z)_{max}:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (1)$$

де $k_1 < 1$, $k_2 > 1$ – показники ступенів при товщині зрізу;

$F(a_z)$, $(1 - F(a_z))$ – значення інтегральної функції розподілення розрахункової товщини зрізів, які визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення

а₂. Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфування в роботі [7].

7. Список використаних джерел необхідно складати за вимогами, що висуваються до оформлення списку використаних джерел у дисертаційних роботах (Бюлетень ВАК України № 5, 2009).

Заголовок “Список використаних джерел” слід розміщувати посередині рядка, шрифт Times New Roman, кегель 12, напівжирний, а список джерел – 11 кегель.

8. Оплата публікації. Опублікування наукових статей у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **50 грн** (прохання обов’язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією, зразок якої наведений у Додатку В.

9. Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина). Всі документи, що містять підписи та печатки, повинні бути відсканованими.

Контактна особа: Подимова Людмила Анатоліївна.

Робочий тел.: (04622) 3-42-44.

E-mail: chntu.ndch@gmail.com

Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи, що не
відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.

Додаток А

Приклад оформлення статті

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук**М.А. Прокопец**, магістр**Є.Ю. Коваленко**, магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ**А.В. Будённый**, канд. техн. наук**М.А. Прокопец**, магистр**Е.Ю. Коваленко**, магистр

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**Oleksandr Budonnyi**, PhD in Technical Sciences**Maryna Prokopets**, master**Yevhen Kovalenko**, master

National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute», Kyiv, Ukraine

CONTACTLESS CHARGING BATTERIES

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликій відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передающими и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Key words: noncontact charge, batteries, processes, energy.

Постановка проблеми. ...**Аналіз останніх досліджень і публікацій. ...****Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. ...****Мета статті. Головною метою цієї роботи є ...****Виклад основного матеріалу. ...****Висновки і пропозиції. ...****Список використаних джерел**

1. Основные источники электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ecololife.ru/study-539-1.html>.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1982. – 622 с.
3. Пентегов И. В. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11–15.
4.
5.

Додаток Б*Бланк для оформлення довідки про автора***ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ**

Дані про авторів	Українською мовою	Російською мовою	Англійською мовою
Прізвище			
Ім'я			
По батькові			
Науковий ступінь			
Вчене звання			
Почесне звання			
Місце роботи			
Посада			
Назва статті			
Обсяг статті			
Поштова адреса, на яку необхідно надсилати примірник збірника			
Контактна інформація	роб. тел.		
	дом. тел.		
	моб. тел.		
	e-mail		

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

Договір про передачу права на використання твору укладається на кожен статтю і надсилається поштою у паперовому вигляді з повністю заповненими автором (ами) твору реквізитами у 2-х примірниках (один для редакційної колегії, інший – для автора). Договір підписується ректором Чернігівського національного технологічного університету й один примірник повертається у паперовому вигляді автору (ам) твору поштою. Наявність Договору про передачу права на використання твору є обов'язковою умовою публікації наукових статей у наукових виданнях університету для всіх авторів.

Додаток В

Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки	Дт	1002	Ідентифікаційний код		
	Кт	31259203106996		05460798	
	Одержувач платежу <u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>				
	Дата здійснення операції _____				
	Дата валютування _____				
				Код установи банку	
				853592	
	Найменування установи банку <u>ГУДКСУ Укр. в Чернігівській області</u>				
	Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____				
	Адреса платника _____				
Касир	Призначення платежу _____		за видання у збірнику		
			25010100		
				Сума	
	Загальна сума _____				
	(словами)				
	Підпис платника _____				
	Квитанція	Дт	1002	Ідентифікаційний код	
		Кт	31259203106996		05460798
		Одержувач платежу <u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>			
Дата здійснення операції _____					
Дата валютування _____					
			Код установи банку		
			853592		
Найменування установи банку <u>ГУДКСУ Укр. в Чернігівській області</u>					
Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____					
Адреса платника _____					
Касир	Призначення платежу _____		за видання у збірнику		
			25010100		
				Сума	
	Загальна сума _____				
	(словами)				
	Підпис платника _____				

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 2 (73)

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 26.12.2014. Формат 60x84/8. Друк різнографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 29,2.
Тираж 300 пр. Замовлення № 249/14.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.