

ISSN 2411-5363

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 2 (2)***

Чернігів 2015

УДК 62:67.05  
ББК 30.1:30.6  
Т38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 10 від 30.11.2015 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р. № 747.

З 2013 року входить до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU (ліцензійний договір № 246-04/2013 від 29 квітня 2013 року).

**Технічні науки та технології** : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. Т38 нац. технол. ун-т, 2015. – № 2 (2). – 256 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: механіки, інтегрованих технологій машинобудування та автотранспорту, технологій зварювання, інформаційно-комп'ютерних технологій, енергетики, технологій деревообробної, легкої і харчової промисловості, технологій охорони праці та природокористування. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів та закладів НАН України.

Журнал «Технічні науки та технології» буде корисним для науковців різних галузей технічних наук, науково-технічних працівників, аспірантів, магістрантів та студентів вищих технічних навчальних закладів.

**УДК 62:67.05**  
**ББК 30.1:30.6**

**Головний редактор:**

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

**Заступник головного редактора:**

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

**Члени редакційної колегії:**

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

Вархола Міхал, професор, Президент Академічного співтовариства Михайла Балудянського, Словаччина;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

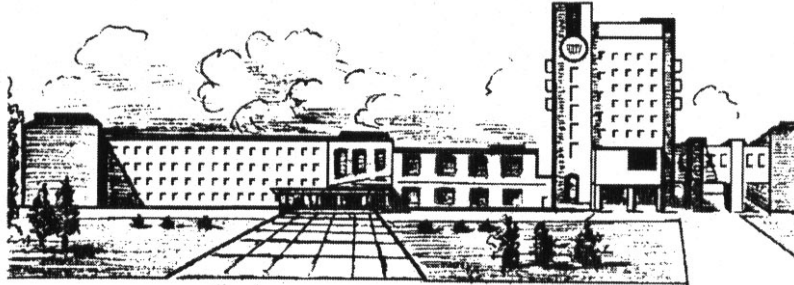
Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal "Electrical, Control and Communication Engineering", Riga Technical University, Riga, Latvia;

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

Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.

ISSN 2411-5363

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
CHERNIHIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**



# ***TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES***

***SCIENTIFIC JOURNAL***

***ISSUE № 2 (2)***

Chernihiv 2015

UDC 62:67.05  
LBC 30.1:30.6

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 10 dated 30.11.2015). Scientific journal “Technical sciences and technologies” is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 13, 2015 № 747.

Since 2013 has been included in the international scientometric database eLIBRARY.RU (license agreement № 246-04/2013 dated April 29, 2013).

**Technical sciences and technologies** : scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2015. – № 2 (2). – 256 p.

The articles on theoretical and experimental research in the field of Technical science: mechanics, integrated technologies of machinery and motor transport, welding technology, information and computer technologies, power engineering, technologies of woodworking, light and food industry, technologies of labor protection and natural resource management have been published in this issue of the Scientific journal “Technical sciences and technologies”. The articles are written by the scientists, postgraduates, masters students, students and are reviewed by the leading scientists of higher technical educational establishments and the institutions of the National Academy of Sciences of Ukraine (NAS).

Journal “Technical sciences and technologies” will be useful for the scientists in different fields of technical sciences, scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of higher technical educational establishment.

**UDC 62:67.05**  
**LBC 30.1:30.6**

***Editor in chief:***

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

***Deputy Editor in chief:***

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

***Members of the Editorial Board:***

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

Varchola Michel, Professor, President of the Academic society of Michal Baludansky, Slovakia;

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

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

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

Dudla I.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

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

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

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

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

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

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

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

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

Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal “Electrical, Control and Communication Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia;

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

Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.



## ЗМІСТ

Вітальне слово.....	9
---------------------	---

## РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

<i>Харжевський В.О.</i> Метод визначення шестикратних вузлів інтерполяції для синтезу важільних кругових напрямних механізмів.....	12
<i>Хоменко І.М.</i> Гранично допустимий зазор у спряженні зубців зубчастого зацеплення.....	19

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Богом'я В.І.</i> Підвищення ефективності процесу експлуатації суднових комплексів.....	26
<i>Кальченко В.І., Сліднікова О.С., Кальченко Д.В.</i> 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення під час шліфування зі схрещеними осями торової поверхні і круга.....	31
<i>Филоненко С.Ф.</i> Моделирование закономерностей акустической эмиссии при изменении глубины резания композиционного материала.....	39
<i>Некрасов С.С., Кудін С.В.</i> Двигун внутрішнього згоряння зі змінним об'ємом робочої камери.....	46

## РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

<i>Болотов М.Г., Ганєєв Т.Р., Новомлинець О.О., Прибитько І.О.</i> Нові напрямки застосування алюмінідів титану.....	51
<i>Ганєєв Т.Р.</i> Особливості дифузійної взаємодії міді та молібдену під час зварювання тиском ...	55
<i>Лаврова Е.В.</i> Исследование процесса расплавления ленточного электрода с принудительным переносом электродного металла.....	62
<i>Новомлинець О.О., Олексієнко С.В., Ющенко С.М., Мартиненко В.О.</i> Дослідження деформаційної кінетики алюмінію при високих температурах.....	67
<i>Ганєєва Т.В.</i> Розроблення підходів до вибору оптимальної конструкції зварних вузлів рам велосипедів.....	72

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Голуб С.В., Жирякова І.А.</i> Новий підхід до концептуалізації знань.....	78
<i>Зацерковний В.І., Гур'єв В.І., Позній В.В.</i> Оцінювання інвестиційного клімату територій за допомогою геопорталів.....	83
<i>Казимир В.В., Герасименко О.Ю.</i> Застосування методів Data Mining для аналізу метеорологічних показників.....	91
<i>Томашевський В.М., Нехай В.В.</i> Засоби імітаційного моделювання для навчання, які ґрунтуються на мові GPSS.....	101
<i>Горбенко П.К., Ковтун А.А., Рогоза А.В., Шоломий Ю.Е.</i> Электронно-дырочная рекомбинация в кристаллах хлористого калия при возбуждении светом из F-полосы поглощения.....	106
<i>Дмитрієв В.А.</i> Вибір обмежень умов застосування парашутних систем для забезпечення безпеки повітряного десантування.....	111
<i>Зарицький О.В.</i> Концепція перспективних інформаційних кадрових систем.....	116
<i>Ільєнко М.К., Руновська Л.А.</i> Кватерніони як математичний апарат комп'ютерної графіки: методологічні аспекти.....	124
<i>Корнієнко І.В.</i> Спосіб автоматизації процесу експертного оцінювання земельних ділянок ....	129
<i>Корнієнко І.В., Кошма А.І.</i> Моделювання обмежень розташування контейнерних майданчиків роздільного збору твердих побутових відходів.....	135

<i>Мехед Д.Б.</i> Захист інформації в комп'ютерних мережах.....	140
<i>Павленко А.Г.</i> Підхід до обґрунтування вибору методу порівняльного аналізу для оцінювання технічного рівня зразків авіаційної техніки в інформаційно-аналітичній системі....	146
<i>Присяжний В.І., Бутко І.М., Ожінський В.В., Мороз В.С.</i> Модель візуалізації даних одноканальних космічних знімків.....	153
<i>Соломаха В.В., Верьовко М.В.</i> Дослідження алгоритмів асиметричних криптосистем .....	158
<i>Гебура Ю.М.</i> Принципи математичного моделювання деревоподібних розпізнавальних систем.....	162
<i>Лактіонов О.І.</i> Модель оцінювання рівня професійної компетентності фахівців сучасних високотехнологічних виробничих процесів.....	168
<i>Маргасов Д.В., Литвин В.І.</i> Алгоритмізація та корекція рівня узгодженості під час ранжирування факторів в інформаційній системі аналізу енергоефективності .....	175
<i>Михайлюк И.В., Литвинов В.В.</i> Система сбора первичной информации автоматизированной системы управления сельскохозяйственным предприятием.....	180
<i>Паламарчук В.С.</i> Аналіз ризиків в аеронавігаційних системах .....	184
<i>Khomenko I.</i> Combining space grammars and geometric models: synthesis, modifying and comparison.....	188
<i>Lytvynov V., Skakalina O., Khomenko I.</i> The concept 5pl-logistics as a means of infrastructure development national agricultural holdings .....	194

#### РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

<i>Husev O.</i> Small signal model of single-phase quasi-z-source inverter with coupled inductors.....	199
--	-----

#### РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Сиза О.І., Савченко О.М., Коваленко М.С., Тимкова І.О.</i> Йододефіцит і раціональне харчування .....	204
<i>Воробйова В. І., Чигиринець О.Е., Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М., Трус І.М.</i> Порівняльне оцінювання компонентного складу екстрактів шишок хмелю ароматичного і гіркого сортів..	210
<i>Воробйова В.І., Чигиринець О.Е., Скиба М.І.</i> Теоретичні дослідження адсорбційної здатності органічних сполук екстракту відходів переробки винограду .....	215
<i>Гуменюк О.Л., Ксенюк М.П., Шупило К.О., Семенюк О.Ю.</i> Використання ароматизованої олії у випічці здобних хлібобулочних виробів .....	222
<i>Михайлова Г.М., Гілевич Ю.В.</i> Електрична безпечність постільних виробів з об'ємними наповнювачами.....	227
<i>Мотузка Ю.М.</i> Дослідження потреб цільової категорії споживачів у продуктах для спеціальних медичних цілей.....	231
<i>Нездолій А.О.</i> Дослідження показників якості цукерок для людей із статико-фізичними навантаженнями.....	237

#### РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<i>Беляев Н.Н., Цыганкова С.Г.</i> CFD моделирование аэроионного режима в помещениях.....	242
---	-----

<b>ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ</b> .....	248
---	-----

## CONTENT

<b>Welcoming words</b> .....	9
<b>SECTION I. MECHANICS</b>	
<i>Kharzhevskiy V.</i> Method of sixfold interpolation nodes determination for the synthesis of circular path generating linkage mechanisms .....	12
<i>Khomenko I.</i> Boundary clearances in the dual teeth gearing.....	19
<b>SECTION II. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT</b>	
<i>Bohomia V.</i> Strengthening the operation of marine systems.....	26
<i>Kalchenko V., Slednikova O., Kalchenko D.</i> 3D-modeling of tools, the process of removal of allowance and formation in grinding with crossed axes of torus surface and circles .....	31
<i>Filonenko S.</i> Simulation of acoustic emission legitimacies during the change of composite material cutting depth .....	39
<i>Nekrasov S., Kudin S.</i> Internal combustion engine with variable volume of the working chamber.....	46
<b>SECTION III. WELDING TECHNOLOGIES</b>	
<i>Bolotov M., Hanieiev T., Novomlynets O., Prybytko I.</i> New directions of application of titanium aluminides .....	51
<i>Hanieiev T.</i> Features of diffusion interaction of copper and molybdenum during the pressure welding.....	55
<i>Lavrova Ye.</i> Study of melting process of strip electrode with forced electrode metal transfer.....	62
<i>Novomlynets O., Oleksiienko S., Yushchenko S., Martynenko V.</i> Investigation of aluminium deformation kinetics under high temperatures .....	67
<i>Hanieieva T.</i> Development of approaches to choosing optimal construction of welded units of bikes frames .....	72
<b>SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES</b>	
<i>Holub S., Zhyriakova I.</i> New approach for knowledge conceptualization .....	78
<i>Zatserkovnyi V., Huriev V., Poznii V.</i> Evaluation of the investment climate of the territories by geoportals .....	83
<i>Kazymyr V., Herasymenko O.</i> Using Data Mining techniques for meteorological figures analysis.....	91
<i>Tomashevskiy V., Nekhai V.</i> Means of imitating modelling for educating, based on GPSS language .....	101
<i>Gorbenko P., Kovtun A., Rogoza O., Sholomiy Yu.</i> Electron-hole recombination in potassium chloride crystals when excited by light from the F-absorption band .....	106
<i>Dmytriiev V.</i> Limit range of operation conditions of the parachute systems for precautions airdrop safety.....	111
<i>Zaritskiy O.</i> Conception of perspective information staff systems .....	116
<i>Iliencko M., Runovska L.</i> Quaternions as mathematical tools in computer graphics: methodological aspects .....	124
<i>Korniienko I.</i> Method of automation of process of expert assessment of land.....	129
<i>Korniienko I., Koshma A.</i> Modelling of restrictions of placement of container platforms of separate collecting municipal solid waste.....	135
<i>Mekhed D.</i> Information security in computer networks.....	140

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

<i>Pavlenko A.</i> Approach to substantiation of the comparative analysis method choice for aeronautical technics technical level assessment in the informational and analytical system.....	146
<i>Prysiaznyi V., Butko I., Ozhinskyi V., Moroz V.</i> Single channel satellite imagery data visualization model.....	153
<b>Solomakha V., Verovko M.</b> The study of algorithms for asymmetric cryptosystems.....	158
<i>Hebura Yu.</i> Principles of mathematical modelling of treelike recognition systems.....	162
<i>Laktionov O.</i> Model of evaluation of the level of professional competence of specialists of modern hi-tech productive processes.....	168
<i>Marhasov D., Lytvyn V.</i> The algorithmization and correction of the level of consistency during the process of ranking factors in the informational system of energy efficiency analysis.....	175
<i>Mikhaylyuk I., Litvinov V.</i> System of collecting of primary data for computer-aided system of agricultural enterprise.....	180
<i>Palamarchuk V.</i> Risk analysis in air navigation systems.....	184
<i>Khomenko I.</i> Combining space grammars and geometric models: synthesis, modifying and comparison.....	188
<i>Lytvynov V., Skakalina E., Khomenko I.</i> The concept 5pl-logistics as a means of infrastructure development national agricultural holdings.....	194

## SECTION V. POWER ENGINEERING

<i>Husev O.</i> Small signal model of single-phase quasi-z-source inverter with coupled inductors.....	199
--	-----

## SECTION VI. TECHNOLOGIES OF WOODWORKING, LIGHT AND FOOD INDUSTRY

<i>Sizaya O., Savchenko O., Kovalenko M., Tymkova I.</i> Iodine deficit and rational feed.....	204
<i>Vorobiova V., Chyhyrynets O., Yefimova V., Pylypenko T., Trus I.</i> Comparative evaluation of the composition of hop cones extract of aromatic and bitter varieties.....	210
<i>Vorobiova V., Chyhyrynets O., Skyba M.</i> Theoretical research of adsorption of organic compounds of the extract of processing grapes waste.....	215
<i>Humeniuk O., Kseniuk M., Shupylo K., Semeniuk O.</i> Using of flavoured oil in baking buns bakery products.....	222
<i>Mykhailova G., Hilevich Yu.</i> Electrical safety of bedding products with volumetric fillers.....	227
<i>Motuzka I.</i> The research of needs of the target categories of consumers in products for special medical purposes.....	231
<i>Nezdolii A.</i> The research of quality indicators of sweets for people with static-physical loads.....	237

## SECTION VII. TECHNOLOGIES OF LABOUR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

<i>Belyaev M., Tsygankova S.</i> CFD simulation of air ion regime in the premises.....	242
--	-----

<b>BASIC REQUIREMENTS FOR SUBMITTING MANUSCRIPTS AND SCIENTIFIC ARTICLES</b> .....	248
--	-----

## ВІТАЛЬНЕ СЛОВО

### Півстоліття служіння українській науці

До 75-річчя з дня народження Литвинова Віталія Васильовича

2 грудня 2015 року виповнилось 75 років з дня народження Литвинову Віталію Васильовичу. Сьогодні це znana людина – відомий український учений у галузі комп'ютерних та інформаційних технологій, математичного й програмного забезпечення обчислювальних машин та систем, імітаційного моделювання. Характерною особливістю діяльності В.В. Литвинова є поєднання високого наукового рівня виконуваних досліджень з доведенням результатів до їх практичного втілення.

Віталій Васильович Литвинов народився 2 грудня 1940 року в місті Верхньому Лисичанському району Луганської області. Закінчив Київський національний технічний університет «КПІ» (1963 р.).

Трудову діяльність Віталій Васильович розпочав у 1963 р. на Маріупольському металургійному заводі імені Ілліча на посаді старшого інженера центральної лабораторії автоматизації та механізації.

У листопаді 1963 р. вступив до аспірантури Інституту кібернетики (ІК) АН УРСР, яку успішно закінчив у листопаді 1966 року. Захистив кандидатську дисертацію у лютому 1967 року. З 1966 року В.В. Литвинов працював на посадах молодшого наукового співробітника та старшого наукового співробітника Інституту кібернетики АН УРСР. У цей період він отримав наукове звання старшого наукового співробітника (1971 р.). У 1975 році перейшов на роботу до щойно створеної кафедри прикладної математики КПІ, де працював до середини 1978 року. Потім Віталій Васильович повертається до Інституту кібернетики, у Спеціальне конструкторське бюро (СКБ) математичних машин і систем ІК Академії наук УРСР, де працює на посадах завідувача сектору, головного конструктора проекту, а після виділення з нього Спеціального конструкторсько-технологічного бюро (СКТБ) програмного забезпечення Інституту кібернетики АН УРСР – на посаді начальника відділу цієї установи. В 1986 р. Литвинов Віталій Васильович захистив докторську дисертацію й отримав Державну премію СРСР у галузі науки та техніки. У 1990 році він отримав звання професора.

Після створення на базі СКТБ у 1992 р. Інституту програмних систем НАН України він працював завідувачем відділу цього інституту. На початку 2000 року перейшов на роботу в Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, де працював до 2012 р. У цей період він отримав Державну премію України в галузі науки і техніки (2006 р.). З 2012 року працює на посаді завідувача кафедри програмної інженерії Чернігівського національного технологічного університету.

Литвинов Віталій Васильович є одним із провідних учених-кібернетиків України, відомий своїми дослідженнями в галузі створення алгоритмічних мов імітаційного моделювання дискретних систем надвисокого рівня з розвиненими засобами планування експерименту та оброблення даних, що отримані у процесі проведення прогонів моделей, спеціалізованих пакетів моделювання, інтелектуальних систем моделювання.

Найбільш вагомими досягненнями в цьому напрямі є розроблення першої у СРСР об'єктно-орієнтованої системи моделювання АЛСІМ-БЕСМ та подальший розвиток цих



ідей у моделюючому комплексі АЛСІМ-ЕС обчислювальних машин ряду ЕС-ЕОМ, у системах моделювання для персональних комп'ютерів АЛСІМ-РС. Ці розробки стали базисом для створення видів пакетів моделювання різних аспектів експлуатації військово-морського флоту СРСР. Прикладами таких пакетів можуть бути пакети МОРЖ (життєвий цикл АПЧ), РЕМ (моделювання процесів у системах базування атомного флоту), ЗПІ (моделювання процесів, що протікають в арсеналах та базах постачання запчастин).

Як один з керівників (заступник головного конструктора), В.В. Литвинов брав участь у розробленні однієї з масштабних інформаційно-розрахункових систем для військово-морського флоту СРСР системи «Юпітер». Рішення, які були закладені під час проектування цієї системи, з успіхом використовуються і тепер у процесі розроблення та впровадження її наступних модифікацій. Роботи з імітаційного моделювання, виконані в межах цього проекту, відзначені Державною премією СРСР у галузі науки і техніки за 1986 р.

Роботи з автоматизації проектування та управління експлуатацією військово-морської техніки з успіхом були використані в КБ імені Антонова для розрахунків регламентів експлуатації, показників проектної та експлуатаційної надійності. Під керівництвом Віталія Васильовича розроблено багато інформаційних комплексів проектування як для створення обґрунтованої експлуатаційної документації, так і для керування процесами обслуговування та ремонту літаків. Особливо треба відзначити інноваційність розробки діагностичного комплексу для авіаційного двигуна Д-18, розробленого у співпраці з Харківським авіаційним інститутом, та комплексу автоматизації управління технічним обслуговуванням і ремонтом для літально-випробувальної й доводчої бази в Гостомелі.

Після розпаду СРСР науковий колектив під керівництвом проф. Віталія Васильовича виконав багато розробок комп'ютерних технологій для американської корпорації Delta Airlines Inc. (1996–2002 рр.).

Цим же колективом для центру керування польотами авіакомпанії розроблені підсистеми графічного супроводу польотів GFF, система розробки економічних траєкторій польотів літаків авіакомпанії NextPlan, система планування та оперативного управління використанням екіпажів CrewManagementSystem та ін.

Професор В.В. Литвинов та його науковий колектив здійснили вагомий внесок у розвиток інформаційних систем і для вітчизняної авіації. Найбільша українська авіакомпанія «Міжнародні авіалінії України» і нині використовує програмне забезпечення планування польотів екіпажів, розроблене під керівництвом цього вченого.

У 2001–2006 рр. його колектив виконав певні розроблення апаратно-програмних комплексів керування великими установками електронно-променевого зварювання. Разом зі співробітниками Інституту електрозварювання імені Є. Патона ними розроблено апаратно-програмний комплекс, що дозволяє в десятки разів скоротити процес розроблення програм зварювання. Тут успішно використані методи багатоагентного управління електронно-променевими гарматами. Зварювальні установки з цією адаптивною багатокоординатною системою керування нині використовуються в корпораціях Boeing (США), Airbus (Британія, Франція), КБ імені Лавочкина (Росія), а також в Японії, Китаї, Індії. За цю роботу колективу розробників присуджена Державна премія України в галузі науки і техніки за 2006 рік.

Під керівництвом Віталія Васильовича в 2003–2008 рр. проводилися роботи зі створення сімейства захищених мобільних телефонів (криптофонів) на базі стандартів GSM 900, GSM 1800, CDMAis95\2000.

Були розроблені криптофони в конструктивах Ericsson R520(m), Sony Ericsson T310, Nokia 6210, Nokia 6310, Kyocera QCP2345 (CDMA IS-95A / 2000), Kyocera QCP3035 (CDMA IS-95A), Hyundai HWP-120 (CDMA IS-95A), IDC 5614 VR+ (PSTN).

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Криптофони ТЗП-GSM, УКС-001, УКС-002, УКС003 пройшли тестування в СБУ і доведені до дослідних зразків.

До цієї групи розробок можна віднести розроблення системи нотифікації та системи захисту обчислювальної мережі. Система нотифікації дозволяє оповіщати велику кількість співробітників, використовуючи канали телефонного зв'язку, Інтернету та за допомогою розсилки SMS-повідомлень. Система встановлена в СБУ та експлуатується з 2008 року. Що стосується системи захисту обчислювальних мереж, то в межах цього проекту розроблена апаратура шифрування-дешифрування потоків інформації, створене програмне забезпечення у вигляді сервера захисту інформації, модулів захисту для робочих станцій.

Протягом останніх років наукові інтереси В.В. Литвинова пов'язані з:

- дослідженнями в галузі математичного моделювання складних об'єктів та процесів, у тому числі з розробками інформаційних технологій і систем автоматизованого керування сільськогосподарськими підприємствами;

- 3D-моделюванням виробок закритих шахт для забезпечення видобутку метану.

Поряд з виконанням ґрунтовних наукових досліджень Віталій Васильович веде напружену науково-організаційну роботу. Він є членом ученої ради ЧНТУ, членом вченої ради ІПММС НАН України, членом редколегій двох наукових журналів, членом двох спеціалізованих рад із захисту докторських та кандидатських дисертацій, академіком та головою Чернігівського осередку Академії технологічних наук України.

З його ініціативи та за його активної участі протягом десяти років у с. Жукін та м. Чернігові проводяться щорічні міжнародні науково-практичні конференції з математичного та імітаційного моделювання складних систем МОДС.

Значну увагу Віталій Васильович приділяє підготовці наукових кадрів, у тому числі і кадрів вищої кваліфікації. Він брав активну участь у створенні та становленні кафедри прикладної математики в КПІ, створив при Інституті проблем математичних машин і систем Навчальний центр, до складу якого увійшли філії ІТ кафедр Національного авіаційного університету, Чернігівського національного технологічного університету, Полтавського національного технічного університету, Івано-Франківського технічного університету нафти і газу, Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Навчальний центр для проведення лекцій та практичних занять використовує технології дистанційного навчання.

Литвинов Віталій Васильович створив і успішно керує кафедрою програмної інженерії Чернігівського національного технологічного університету.

Три доктори наук та 14 кандидатів наук під науковим керівництвом Віталія Васильовича отримали путівки в життя.

Результати наукових досліджень і прикладних розробок В.В. Литвинова відображені в 12 монографіях, 3 декларативних патентах, 183 наукових працях.

Невтомний трудівник, дослідник, організатор наукової справи, Віталій Васильович Литвинов користується заслуженим авторитетом і пошаною серед вітчизняних і зарубіжних учених.

Зичимо йому міцного здоров'я, натхнення та нових наукових здобутків.

Клименко В.П.,  
д-р фіз.-мат. наук, професор,  
заступник директора Інституту проблем математичних  
машин і систем НАН України

## РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

УДК 621.01

**В.О. Харжевський**, канд. техн. наук

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

### МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ШЕСТИКРАТНИХ ВУЗЛІВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ КРУГОВИХ НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ

**В.А. Харжевский**, канд. техн. наук

Хмельницкий национальный университет, г. Хмельницкий, Украина

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕСТИКРАТНЫХ УЗЛОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ СИНТЕЗА РЫЧАЖНЫХ КРУГОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

**Viacheslav Kharzhevskiy**, PhD in Technical Sciences

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

### METHOD OF SIXFOLD INTERPOLATION NODES DETERMINATION FOR THE SYNTHESIS OF CIRCULAR PATH GENERATING LINKAGE MECHANISMS

*У роботі розглянуто питання синтезу важільних напрямних механізмів, ділянки шатунних кривих яких наближаються до дуги кола з високою точністю. Для проектування таких механізмів використані методи кінематичної геометрії шести нескінченно близьких положень механізму, що полягають у використанні шестикратних вузлів інтерполяції (точок Бурместера 5-го порядку), які математично забезпечують найвищий порядок дотику шатунної кривої шарнірного чотириланкового механізму до дуги кола в цій точці. Наведено аналітично-числовий метод визначення таких точок. Встановлено, що існують випадки, коли в шатунній площині існує лише одна точка Бурместера 5-го порядку, що може бути використана для проведення синтезу механізмів.*

**Ключові слова:** важільні механізми, кругові напрямні механізми, синтез, шестикратні вузли інтерполяції, точки Бурместера 5-го порядку.

*В работе рассмотрен синтез рычажных направляющих механизмов, участки шатунных кривых которых приближаются к дуге окружности с высокой точностью. Для проектирования таких механизмов использованы методы кинематической геометрии шести бесконечно близких положений механизма, в частности шестикратные узлы интерполяции (точки Бурместера 5-го порядка), которые математически обеспечивают наивысший порядок соприкосновения шатунной кривой шарнирного четырехзвенного механизма к дуге окружности в данной точке. Приведен аналитическо-численный метод определения таких точек. Установлено, что существуют случаи, когда в шатунной плоскости существует только одна точка Бурместера 5-го порядка, которая может быть использована для проведения синтеза механизмов.*

**Ключевые слова:** рычажные механизмы, круговые направляющие механизмы, синтез, шестикратные узлы интерполяции, точки Бурместера 5-го порядка.

*The article is dedicated to the synthesis of path generating linkage mechanisms which coupler points trace coupler curves with the approximation of the defined parts to the arc of the circle. For the designing of such mechanisms the methods of the kinematic differential geometry of the six infinitesimally close positions of the mechanism were used, in particular – sixfold interpolation nodes (Burmester points of the 5<sup>th</sup> order of tangency) which mathematically provides the highest order of tangency between the coupler curve of the four-bar linkage mechanism and approximation arc in this point. The analytical and numerical method of the determination of these points is considered in the article. It was found the cases where there is only one Burmester point of the 5<sup>th</sup> order in the coupler plane can be used for the synthesis of mechanisms.*

**Key words:** linkage mechanisms, circular path generating mechanisms, synthesis, sixfold interpolation nodes, Burmester points of the 5<sup>th</sup> order.

**Постановка проблеми.** Під час проектування сучасних машин часто виникає проблема забезпечення руху виконавчих органів за певною траєкторією. Такі механізми називають напрямними, причому для цього можуть використовуватись важільні механізми. Крім того, важільні кругові напрямні механізми можуть застосовуватись як базові під час проектування циклових механізмів із періодичною зупинкою вихідної ланки. Такі механізми мають певні переваги перед іншими типами механізмів, зокрема кулачковими та мальтійськими, оскільки не містять у своєму складі вищих кінематичних пар, забезпечують більшу надійність у роботі, більші робочі швидкості та навантажувальну здатність. Серед прикладів впровадження важільних кругових напрямних механізмів на практиці можна відзначити механізм перекидача для багат шарових хлібопекарських подових печей, механізм для сортування зерна, механізми привода голлок основов'язальних машин та багато інших.



У випадку необхідності забезпечення високою точністю наближення, синтез таких механізмів являє собою складну задачу, яка може бути розв'язана лише з використанням сучасних аналітично-числових методів. Таким чином, розроблення таких методів є актуальним науково-технічним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує два напрямки у синтезі важільних напрямних механізмів: використання умов найкращого наближення за Чебишевим, що полягає у пошуку таких геометричних параметрів механізмів, які забезпечують максимально можливу кількість спільних точок на інтервалі наближення між шатунною кривою і дугою кола з рівномірним характером зміни відхилень. У цьому напрямку слід відзначити роботи Кіницького [4], Еділяна, Саркіяна [11]. Задача синтезу таких механізмів детально розглядалась для механізмів із симетричною формою шатунних кривих, а для прямолінійно-напрямних механізмів Гассманом [9] розроблено чисельний метод для визначення параметрів механізмів із несиметричною формою шатунної кривої. Другим напрямком у синтезі важільних напрямних механізмів є використання методів кінематичної геометрії, що започатковані німецьким ученим Бурместером. У цьому напрямку слід відмітити роботи Бейєра [2], Мюллера, Ліхтенхельдта [6], Черкудинова [1]. Існує також багато сучасних робіт у цьому напрямку, зокрема Уанга [14], Іна, Хана [12; 13] та безліч робіт інших дослідників.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на велику кількість робіт із синтезу важільних кругових напрямних механізмів, наявні методи синтезу забезпечують, як правило, лише частковий розв'язок поставленої задачі. Як відомо, під час проведення синтезу таких механізмів методами кінематичної геометрії максимально можливу точність наближення можна забезпечити завдяки використанню вузлів інтерполяції якомога вищої кратності. Зокрема, для шатунної кривої шарнірного чотириланкового механізму такими шатунними точками будуть шестикратні вузли інтерполяції (точки, що забезпечують дотик 5-го порядку шатунної кривої та дуги кола у цій точці – точки Бурместера 5-го порядку). Однак наявні методи синтезу дозволяють визначати такі особливі точки лише в окремих випадках, зокрема у випадках розпаданя кривих Бурместера.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є розроблення аналітично-числового методу синтезу кругових напрямних механізмів на базі несиметричного шарнірного чотириланкового механізму з дотиком 5-го порядку шатунної кривої до дуги кола в цій точці (тобто відповідно до умови наявності шестикратного вузла інтерполяції – точки Бурместера 5-го порядку). Це дозволить проводити проектування таких механізмів з ділянками наближення високої точності, оскільки в цих особливих точках спостерігається не лише збігання шатунної кривої та дуги кола, але і їх перших п'яти похідних.

**Виклад основного матеріалу.** Кінематичну схему кругового напрямного механізму на базі шарнірного чотириланкового механізму  $OABCD$  наведено на рис. 1. При заданому положенні нерухомих шарнірів механізму  $O$  та  $C$  ( $d = l_{oc} = 1$ ), змінними параметрами механізму є довжини його ланок: кривошипа  $r$ , шатуна  $b$ , коромисла  $c$ , а також параметри, що визначають положення його шатунної точки: довжина другого плеча шатуна  $k$  та кут його злому  $\Omega$ . Кожна точка шатунної площини  $ABD$  механізму може бути прийнята за шатунну, причому рулетка такої точки буде шатунною кривою, яка в цій точці буде мати певну кривизну. Якщо провести з центра кривизни точки цієї кривої коло радіусом кривизни, побудоване коло буде мати з шатунною кривою дотик щонайменше 2-го порядку. Якщо при цьому обрана точка на шатунній кривій буде екстремумом функції кривизни – будемо мати дотик 3-го порядку. Геометричним місцем таких точок є крива кругових точок (рис. 1). Для наявності дотику 4-го порядку ця точка повинна бути точкою Бурместера. Зазначені точки визначаються як перетин кривої,

що є геометричним місцем точок з дотиком 4-го порядку з кривою кругових точок. А у випадку шести нескінченно близьких положень шатунної площини – точкою Бурместера 5-го порядку, що забезпечить дотик 5-го порядку та відповідно рівність перших п'яти похідних шатунної кривої та кола кривизни у цій точці. Як видно з рис. 1, ця точка визначається як перетин трьох кривих – кривих геометричного місця точок з дотиком 4-го та 5-го порядків та кривої кругових точок. Зазначимо, що чим вищим є порядок дотику двох кривих, тим теоретично тривалішими можна отримати ділянки наближення більш високої точності.

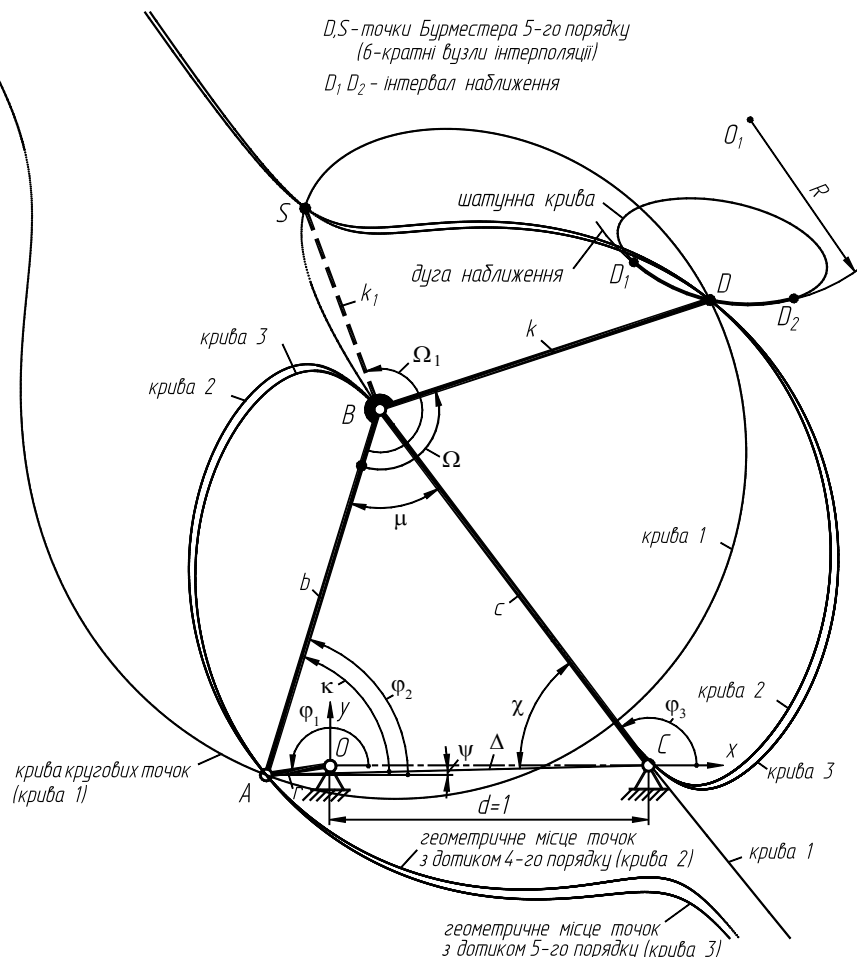


Рис. 1. Важільний круговий напрямний механізм та шестикратні вузли інтерполяції його шатунної площини (точки Бурместера 5-го порядку)

У цій роботі розглянемо метод синтезу важільних кругових напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму з найвищим порядком дотику шатунної кривої та кола наближення, що полягає у пошуку в шатунній площині точок Бурместера 5-го порядку. Тобто задача полягає у визначенні таких параметрів механізму, щоб деяка точка D його шатунної площини викреслювала шатунну криву, яка в цій точці мала б дотик 5-го порядку зі своїм дотичним колом.

Відповідно до теоретичних основ кінематичної геометрії [3] умова наявності дотику кривої 5-го порядку до дуги кола є такою:

$$\frac{dK}{d\varphi_1} = \frac{d^2K}{d\varphi_1^2} = \frac{d^3K}{d\varphi_1^3} = 0, \quad (1)$$

де  $K$  – функція кривизни шатунної кривої, у вираз (1) входять її похідні за узагальненою координатою, за яку прийнято кут повороту кривошипа  $\varphi_1$ .

Кривизна шатунної кривої як функції, заданої параметрично, визначається, як відомо [3], за формулою:

$$K = (x'_D y''_D - x''_D y'_D) / \sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^3}, \quad (2)$$

де  $x'_D, y'_D, x''_D, y''_D$  – відповідно проекції швидкості та прискорення шатунної точки. Перша похідна від кривизни шатунної кривої за узагальненою координатою [8]:

$$K' = \frac{dK}{d\varphi_1} = \frac{x'_D y'''_D - x'''_D y'_D}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^3}} - \frac{3(x'_D y''_D - x''_D y'_D)(x'_D x''_D + y'_D y''_D)}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^5}}, \quad (3)$$

де  $x'''_D, y'''_D$  – швидкість зміни прискорення точки  $D$  у проекціях на осі координат. Друга похідна від кривизни шатунної кривої за узагальненою координатою:

$$K'' = \frac{d^2 K}{d\varphi^2} = \frac{x'_D y^{IV}_D - x^{IV}_D y''_D + x''_D y'''_D - x'''_D y'_D}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^3}} - \frac{3(x'_D y'''_D - x'''_D y'_D)(x'_D x''_D + y'_D y''_D)}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^5}} - 3 \left[ \frac{x''^2_D + y''^2_D + x'_D x'''_D + y'_D y'''_D}{x'_D x''_D + y'_D y''_D} + \frac{x'_D y'''_D - x'''_D y'_D}{x'_D y''_D - x''_D y'_D} - \frac{5(x'_D x''_D + y'_D y''_D)}{(x'^2_D + y'^2_D)} \right] \frac{(x'_D x''_D + y'_D y''_D)}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^5}} \times (x'_D y''_D - x''_D y'_D), \quad (4)$$

де  $x^{IV}_D, y^{IV}_D$  – похідні 4-го порядку від переміщення шатунної точки  $D$  механізму. Третя похідна від кривизни шатунної кривої за узагальненою координатою:

$$K''' = \frac{d^3 K}{d\varphi^3} = \frac{x'_D y^V_D + 2x''_D y^{IV}_D - 2x^{IV}_D y''_D - x^V_D y'_D}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^3}} - \frac{15(x'_D x''_D + y'_D y''_D)^2 (x'_D y'''_D - x'''_D y'_D)}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^7}} - \frac{6(x'_D x''_D + y'_D y''_D)(x'_D y^{IV}_D + x''_D y'''_D - x'''_D y''_D - x^{IV}_D y'_D)}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^5}} - \frac{3(x'_D y'''_D - x'''_D y'_D)}{\sqrt{[x'^2_D + y'^2_D]^5}} \times (x''^2_D + y''^2_D + x'_D x'''_D + y'_D y'''_D), \quad (5)$$

де  $x^V_D, y^V_D$  – похідні 5-го порядку від переміщення точки  $D$  механізму у проекціях на осі координат. Для спрощення базових формул введемо такі коефіцієнти:

$$H_1 = \frac{x''^2_D + y''^2_D + x'_D x'''_D + y'_D y'''_D}{x'_D x''_D + y'_D y''_D}; H_2 = \frac{x'_D y'''_D - x'''_D y'_D}{x'_D y''_D - x''_D y'_D}; H_3 = \frac{5(x'_D x''_D + y'_D y''_D)}{x'^2_D + y'^2_D}. \quad (6)$$

Перші похідні зазначених коефіцієнтів (6) за узагальненою координатою:

$$H'_1 = \frac{3(x''_D x'''_D + y''_D y'''_D) + x'_D x^{IV}_D + y'_D y^{IV}_D}{x'_D x''_D + y'_D y''_D} - H_1^2; H'_2 = \frac{x'_D y^{IV}_D + x''_D y'''_D - x'''_D y''_D - x^{IV}_D y'_D}{x'_D y''_D - x''_D y'_D} - H_2^2; H'_3 = \frac{5(x''^2_D + y''^2_D + x'_D x'''_D + y'_D y'''_D)}{x'^2_D + y'^2_D} - \frac{10(x'_D x''_D + y'_D y''_D)^2}{(x'^2_D + y'^2_D)^2} = H_1 H_3 - 0,4 H_3^2. \quad (7)$$

Враховуючи введені позначення, формули (3)–(5) запишуться таким чином:

$$K' = (H_2 - 0,6H_3)K; K'' = K'^2/K + (H_2' - 0,6H_3')K. \quad (8)$$

$$K''' = \left[ \frac{x_D' y_D'' + 2x_D'' y_D'' - 2x_D'' y_D'' - x_D'' y_D''}{x_D' y_D'' - x_D'' y_D''} - 1,2H_3 (H_2' + H_2'^2) \right] K - 0,6H_3 K \left[ H_1 H_2 - H_2 H_3 + (H_1 + H_2 - H_3)^2 + H_1' + H_2' - H_3' \right]. \quad (9)$$

Всі величини, що входять у формули (1)–(9), є відомими та можуть бути розраховані, зокрема, числовим способом (наприклад, з використанням системи *Mathcad* [5]), або аналітично, зокрема, з використанням формул, виведених у [8].

Очевидно, що безпосереднє використання формул (1)–(9) для проведення синтезу кругових напрямних механізмів можливе лише методами числового аналізу завдяки добору значень геометричних параметрів або за допомогою направленої пошуку, що можливо, але є досить громіздкою процедурою й у випадку необхідності проведення багатокритеріального оптимізаційного синтезу є малоефективним. Тому для розв'язання поставленої задачі пропонується такий аналітично-числовий метод:

1. Змінюємо кут повороту кривошипа від 0 до  $2\pi$  з деяким кроком. Для кожного положення механізму визначаємо у шатунній площині точки Бурместера. Як стверджується у теоретичних положеннях кінематичної геометрії, для будь-якого положення шатунної площини точок Бурместера може виявитись дві, чотири, або не виявитись зовсім [1]. Методика визначення точок Бурместера викладена автором у [7].

2. Оскільки точки Бурместера забезпечують дотик не нижче 4-го порядку, задача полягає у визначенні тих з них, які характеризуються наявністю дотику 5-го порядку. Для цього для всіх знайдених точок Бурместера за формулою (9) розраховуємо значення третьої похідної від кривизни шатунної кривої за узагальненою координатою.

Приклад отриманих результатів розрахунку показано на рис. 2. Точки 1–8 на цьому графіку відповідають значенням  $K''' = 0$  і визначають шестикратні вузли інтерполяції (точки Бурместера 5-го порядку).

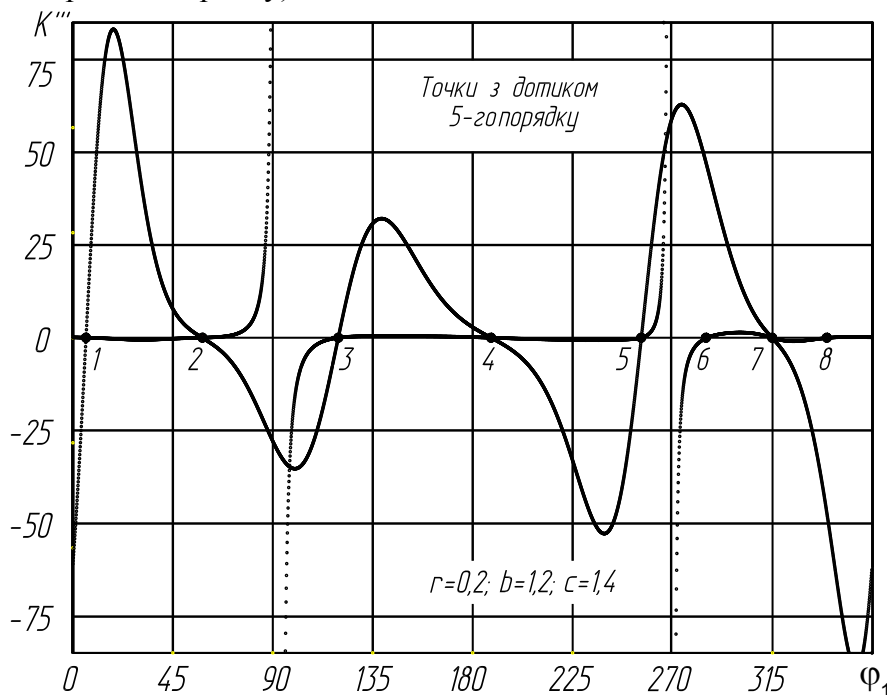


Рис. 2. Графік зміни третьої похідної від функції кривизни шатунних кривих точок Бурместера за узагальненою координатою – кутом  $\varphi_1$

3. Чисельним способом визначаємо положення шатунної площини механізму, що відповідають випадку наявності точки Бурместера 5-го порядку. В таблицю зведено геометричні параметри знайдених механізмів (для прикладу:  $r = 0,2$ ;  $b = 1,2$ ;  $c = 1,4$ ). Для кожної знайденої точки в таблицю були внесені параметри механізму: довжина другого плеча шатуна  $k$  та кут його злому  $\Omega$ , а також радіус кола наближення  $R$ .

Таблиця

Геометричні параметри механізмів, синтезованих за умовою дотику 5-го порядку

№	Кут повороту кривошипа $\varphi_1$	Перша точка Бурместера 5-го порядку		
		$k$	$\Omega$	$R$
1	6,0640986063225	1,258514623823	63,6028995798841	0,09368679
2	58,060010002766	3,422586668992	227,380567442409	5,30065828
3	119,33177217463	1,755147857869	103,581693074752	0,16643301
4	188,62816846513	1,090690689529	125,264025684210	0,57833110
5	256,64693759052	0,015515406277	225,468836217159	1,43505590
6	279,81862592419	0	0	1.4
7	315,32782621366	0,676326243674	63,1793666197615	0,34985905
8	344,01530605997	1,084394870725	70,5188675280895	0,15684768
№	Кут повороту кривошипа $\varphi_1$	Друга точка Бурместера 5-го порядку		
		$k_2$	$\Omega_2$	$R_2$
1	6,0640986063225	0,14138382101397	220,913536514927	1,58797146
2	58,060010002766	2,16364992330239	72,8021283488889	0,54227562
3	119,33177217463	1,87090599582944	226,131801375647	4,26080455
4	188,62816846513	0,67059629456367	217,394681683210	3,12030763
5	256,64693759052	0,77208840741504	97,1950841154885	0,10226790
6	279,81862592419	0,84695307820426	89,2593753735240	0,14609083
7	315,32782621366	0,40619201866240	51,0912206809169	0,72297295
8	344,01530605997	0	0	1.4

Як видно з наведених результатів, для заданого шарнірного чотириланкового механізму, що визначається довжинами кривошипа  $r$ , шатуна  $b$  та коромисла  $c$ , було знайдено 8 положень шатунної площини, що визначаються різними кутами повороту кривошипа  $\varphi_1$ , для яких точки Бурместера мають властивість дотику 5-го порядку (шестикратні вузли інтерполяції).

Причому у всіх точках, крім 6 та 8, графік функції  $K'''$  проходить через зазначені точки двічі: це означає, що для кожного з цих положень шатунної площини можна знайти по дві точки Бурместера 5-го порядку. Пояснення цієї особливості є в роботі Геронімуса [3], який стверджував, що якщо три точки Бурместера мають властивість п'ятого порядку, то цю ж властивість має також четверта точка Бурместера.

Зазначимо, що як точки Бурместера 5-го порядку розглядаються також рухомі шарніри механізму  $A$  та  $B$ , оскільки вони описують ідеальні кола та забезпечують дотик не тільки 5-го, але і як завгодно більш високого порядку (проте ці точки з очевидних причин не можуть бути використані для синтезу кругових напрямних механізмів). Звідси випливає висновок: якщо одна з точок Бурместера буде 5-го порядку, то цю ж властивість буде мати також друга точка Бурместера.

У теоретичних основах кінематичної геометрії також стверджується [1], що для заданого положення механізму точок Бурместера може виявитись дві, чотири або жодної (враховуючи, що дві з них – рухомі шарніри механізму).

Як видно з отриманих нами результатів, існують випадки, коли це твердження не завжди є справедливим, оскільки для прикладу, що розглядався вище, з 16 точок Бурместера 5-го порядку, які існують для механізму із заданими параметрами, 14 з них від-

повідують цьому твердженню, а 2 – ні. В таблиці показано, що в положеннях кривошипа № 6 та № 8 однією з точок Бурместера 5-го порядку є рухомий шарнір *B* механізму, тобто загальна кількість точок Бурместера 5-го порядку – три, а таких, що не збігаються з рухомими шарнірами механізму та можуть бути використані для синтезу кругового напрямного механізму – одна.

**Висновки і пропозиції.** В роботі наведено аналітично-числовий метод синтезу важільних кругових напрямних механізмів, що ґрунтується на теоретичних положеннях кінематичної геометрії шести нескінченно близьких положень шатунної площини з максимально можливим порядком дотику шатунної кривої до дуги кола на основі точок Бурместера 5-го порядку. Використання таких точок під час проведення синтезу механізмів дозволяє отримати теоретично точніші ділянки наближення. Розроблені алгоритми та відповідне програмне забезпечення. Наведено деякі результати проведеного синтезу. Роботу планується продовжити в напрямку визначення меж існування таких механізмів з метою проведення їх оптимізаційного синтезу за різними критеріями, зокрема кінематичними та кінетостатичними.

#### Список використаних джерел

1. *Артоболевский И. И.* Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. *Бейер Р.* Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов / Р. Бейер. – М. : Машгиз, 1959. – 318 с.
3. *Геронимус Я. Л.* Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов / Я. Л. Геронимус. – М. : Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.
4. *Киницкий Я. Т.* Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
5. *Кіницький Я. Т.* Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посіб. / Я. Т. Кіницький, В. О. Харжевський, М. В. Марченко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 295 с.
6. *Лихтенхельдт В.* Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.
7. *Харжевський В. О.* Аналітично-числовий синтез кругових напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Бурместера / В. О. Харжевський, Я. Т. Кіницький // *Машинознавство*. – 2005. – № 4. – С. 26–31.
8. *Харжевський В. О.* Методика визначення особливих точок Чебишева для синтезу важільних прямолінійно-направних механізмів / В. О. Харжевський // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2015. – № 3. – С. 34–41.
9. *Gassmann V.* Synthese von Geradföhungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
10. *McCarthy, J.*, Geometric Design of Linkages, 2nd edition / McCarthy J., Soh G., Springer-Verlag, New York, 2011. – 448 p.
11. *Sarkissyan Y.L.* Approximations in Synthesis of Mechanisms /State Engineering University of Armenia Proceedings. Series “Mechanics, Machine Science, Machine-building”, Issue 15, № 2. – 2012. – P. 9–21.
12. *Yin L.* Synthesis research of straight-line mechanisms by analyzing solution regions / L. Yin, J. Han // *Journal of University of Science and Technology, Beijing*. – 2011. – № 33(2). – С. 237–243.
13. *Yin L.* Synthesis method based on solution regions for planar four-bar straight-line linkages / L. Yin, J. Han, C. Mao, J. Huang, T. Yang // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2012. № 26 (10). – P. 3159–3167.
14. *Wang D.* Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages / Wang D., Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 450 p.

**І.М. Хоменко**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИЙ ЗАЗОР У СПРЯЖЕННІ ЗУБЦІВ ЗУБЧАСТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ

**И.М. Хоменко**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ГРАНИЧНО ДОПУСТИМЫЙ ЗАЗОР В СОПРЯЖЕНИИ ЗУБЦОВ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

**Ivan Khomenko**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### BOUNDARY CLEARANCES IN THE DUAL TEETH GEARING

*У роботі наведено метод розрахунку гранично допустимого зазору у спряженні зубців зубчастого зацеплення.*

**Ключові слова:** гранично допустимий зазор, шестерні, контактна взаємодія шестерень.

*В работе приведен метод расчета предельно допустимого зазора в сопряжении зубцов зубчатого зацепления.*

**Ключевые слова:** предельно допустимый зазор, шестерни, контактное взаимодействие шестерен.

*In this paper the method for calculating the maximum allowable gap in the teeth of a gear coupling engagement.*

**Key words:** maximum allowable gap, gears, gear contact interaction.

**Вступ.** Під час зношування поверхонь зубців зубчастих передач зазор між зубцями може сягати величин, за яких контактна взаємодія між зубцями набуває ударного характеру. В роботі [3] було встановлено, що під час зростання зазору деформація поверхонь зубців при ударній взаємодії може зростати у декілька разів порівняно зі статичною деформацією.

Під час розв'язування динамічних задач спочатку розв'язують статичну задачу про контактну взаємодію між елементами спряження, оскільки пружні і деформівні характеристики матеріалу елементів спряжень не залежать від умов їх взаємодії.

Динником [1; 2] розглянута задача про стискування циліндра по діаметру з двох сторін. Місцеві пружні деформації при цьому можуть бути прийняті рівними контактному зближенню двох циліндрів однакових радіуса і матеріалу під дією стискуючих сил.

Якщо стискуючі сили спрямовані вздовж осі  $Z$  (збігається з віссю, яка проходить через центри циліндрів і перетинає лінію контакту циліндрів), то певна ділянка кожного циліндра в зоні контакту буде деформуватись у прямокутну фігуру, яка лежить у площині  $XU$ . Половина ширини прямокутника –  $a$  при цьому визначається за формулою [1]:

$$a = \sqrt{\frac{p'(\delta_1 + \delta_2) \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}{\pi(\rho_1 + \rho_2)}}, \quad (1)$$

де  $p' = \frac{P}{b}$  – зусилля, що припадає на одиницю довжини циліндра, Н/м;

$P$  – стискуюча сила, застосована до циліндра, Н;

$b$  – довжина циліндра, м;

$\delta_i = \frac{4(1 - \mu_i^2)}{E_i}$  – коефіцієнт еластичності Кірхгофа  $i$ -го циліндра;

$\mu_i$  – коефіцієнт Пуассона;

$E_i$  – модуль пружності першого роду матеріалу циліндрів, Па;

$\rho_i$  – радіус кривизни тіл, що перебувають у контакті, м.

Із виразу (1) отримуємо формулу:

$$a = 1,077 \sqrt{\frac{p'(E_1 + E_2)\rho_1\rho_2}{E_1E_2(\rho_1 + \rho_2)}}, \quad (2)$$

яка відповідає формулі Писаренка [5], а саме:

$$2a = 2,15 \sqrt{p' \frac{\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}\right)}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}}}. \quad (3)$$

Найбільше контактне напруження, яке виникає під час стискування циліндрів згідно з [2]:

$$\sigma_{\max} = 0,418 \sqrt{\frac{2p'E_1E_2(\rho_1 + \rho_2)}{(E_1 + E_2)\rho_1\rho_2}}. \quad (4)$$

У випадку дотику  $n$ -го порядку тіл криволінійної поверхні (початковий поверхневий контакт) залежність між динамічною контактною силою –  $p$  і зближенням тіл –  $\alpha$  може бути визначена з формули, запропонованої Штаерманом [6]:

$$p = c\alpha^{\frac{2n+1}{2n}}, \quad (5)$$

де  $c$  – коефіцієнт, який залежить від кривизни поверхні і властивостей матеріалу тіл, що контактують. При контакті куль  $n=1$  і  $p = c\alpha^{3/2}$ . Тобто маємо відому для вказаного випадку формулу Герца. При контакті циліндрів ( $n \rightarrow \infty$ ,  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2n+1}{2n} = 1$ ) маємо лінійну залежність:

$$p = c\alpha. \quad (6)$$

Звичайно величина показника степені у виразі (5) знаходиться у межах  $1 \leq \frac{2n+1}{2n} \leq 3/2$  [4].

Зближення циліндрів однакового радіуса і матеріалу може бути визначено за формулою [4]:

$$\alpha = \frac{2p'(1-\mu^2)}{\pi E} \ln \frac{\pi e^{2/3} \rho E}{p'(1-\mu^2)}. \quad (7)$$

У роботі Свекло [4] показано, що зближення двох куль за відсутності зазору між ними і миттєвому навантаженні силою  $p'$  (удар)  $\alpha_d = 1,842\alpha_{st}$ , де  $\alpha_{st} = \frac{p'}{c}$  – статична деформація куль під дією тієї ж сили.

**Методи і результати.** Розглянемо ударну взаємодію зубців однопарного зачеплення прямозубих зубчастих коліс. При цьому нехтуємо впливом згину зубців на місцеві деформації поверхонь зубців. Останні вважаємо пружними. При малих порівняно з радіусами кривизни зубців дугами їх контакту ( $\rho \gg 2a$ ) можна вважати контакт зубців, як контакт двох циліндрів однакового радіуса ( $\rho$ ). При цьому маса циліндрів буде визначатись, як приведена до ділильного кола маса зубчастих коліс, а саме:

$$m_1 = \frac{I_1}{R_1^2}; \quad m_2 = \frac{I_2}{R_2^2}; \quad (8)$$



де  $I_1, I_2$  – моменти інерції зубчастих коліс,  $\text{кгм}^2$ ;

$R_1, R_2$  – радіуси ділільних кіл відповідних зубчастих коліс, м.

Представимо рухому систему координат, початок якої відповідає миті входження в контакт циліндрів, а координати центрів мас циліндрів – відповідно  $z_1$  і  $z_2$ . Зближення циліндрів у результаті їх місцевих деформацій під дією статичної і динамічної сил  $\alpha = z_1 - z_2$ . При цьому диференціальні рівняння руху центрів мас циліндрів будуть мати вигляд:

$$m_1 \ddot{z}_1 = p' - p, \tag{9}$$

$$m_2 \ddot{z}_2 = -p' + p. \tag{10}$$

Розділивши (9) і (10) відповідно на  $m_1$  і  $m_2$  і віднявши від першого із отриманих виразів другий, а також врахувавши, що  $\ddot{\alpha} = \ddot{z}_1 - \ddot{z}_2$ , отримаємо:

$$\ddot{\alpha} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} (p' - p). \tag{11}$$

Позначивши через  $m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$  сумарну наведену масу зубчастих коліс, отримаємо диференціальне рівняння:

$$m \ddot{\alpha} = p' - p. \tag{12}$$

Врахуємо формулу (5), представимо  $\ddot{\alpha} = \frac{d}{dt}(\dot{\alpha})$  і помножимо вираз (12) на  $d\alpha$ . Після цього інтегруємо скореговане диференціальне рівняння. В результаті отримаємо:

$$\frac{1}{2} m \dot{\alpha}^2 = p' \alpha - \frac{2nc}{4n+1} \alpha^{\frac{4n+1}{2n}} + C. \tag{13}$$

При  $t=0$   $\alpha=0$ ,  $\dot{\alpha}(0) = V_r$ , де  $V_r$  – відносна швидкість циліндрів у момент їх початкового контакту. Тоді  $C = \frac{V_r^2}{2}$  і рівняння (13) набуває вигляду:

$$\dot{\alpha}^2 - V_r^2 = \frac{2p'\alpha}{m} - \frac{4nc}{(4n+1)m} \alpha^{\frac{4n+1}{2n}}. \tag{14}$$

Розглянемо випадок, коли у початкову мить контакту циліндрів їх відносна швидкість  $V_r = 0$  і до циліндрів докладено ударне навантаження інтенсивності  $p'$ . Тоді із (14) маємо:

$$\dot{\alpha}^2 = \frac{2p'\alpha}{m} - \frac{4nc}{(4n+1)m} \alpha^{\frac{4n+1}{2n}}. \tag{15}$$

У мить максимального зближення циліндрів  $\dot{\alpha} = 0$ . Враховуючи останнє, із (15) отримаємо:

$$\alpha = \left( \frac{4n+1}{2nc} p' \right)^{\frac{2n}{2n+1}} = \left[ \alpha_{st} \left( \frac{4n+1}{2n} \right) \right]^{\frac{2n}{2n+1}}. \tag{16}$$

При ударному навантаженні куль за відсутності зазору між ними, а також, враховуючи, що при цьому  $n=1$ , із (16) отримаємо, як і в роботі [4],  $\alpha = 1,842 \alpha_{st}$ . В аналогічному випадку для контактної взаємодії циліндрів ( $n \rightarrow \infty$ ) –  $\alpha = 2 \alpha_{st}$ .

Розглядаючи загальний випадок ( $V_r \neq 0$ ) і диференціюючи вираз (15) за часом, отримаємо диференціальне рівняння:

$$\ddot{\alpha} + \frac{c}{m} \alpha^{\frac{2n+1}{2n}} = \frac{p'}{m}. \quad (17)$$

При ударній взаємодії циліндрів диференціальне рівняння (17) стає лінійним, а саме:

$$\ddot{\alpha} + \frac{c}{m} \alpha = \frac{p'}{m}. \quad (18)$$

Розв'язок диференціального рівняння (19) отримаємо у вигляді:

$$\alpha = C_1 \cos \omega_0 t + C_2 \sin \omega_0 t + \frac{p'}{c}, \quad (19)$$

де  $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$  – циклічна частота коливань при ударі, рад/с.

Після диференціювання за часом останнього виразу отримаємо:

$$\dot{\alpha} = -C_1 \omega_0 \sin \omega_0 t + C_2 \omega_0 \cos \omega_0 t. \quad (20)$$

При  $t=0$   $\alpha=0$  і  $\dot{\alpha}(0)=V_r$ . Із (19) і (20) маємо  $C_1 = -\frac{p'}{c}$ ;  $C_2 = \frac{V_r}{\omega_0}$ .

Після підстановки в (19) сталих інтегрування знаходимо:

$$\alpha = \frac{p'}{c} (1 - \cos \omega_0 t) + \frac{V_r}{\omega_0} \sin \omega_0 t. \quad (21)$$

Оскільки  $\frac{p'}{c} = \alpha_{st}$ , то при  $V_r = 0$  і  $\cos \omega_0 t = -1$  із (21) маємо, як і під час використання формули (16)  $\alpha = 2\alpha_{st}$ .

При  $V_r \neq 0$  і  $\sin \omega_0 t = 1$  ( $\cos \omega_0 t = 0$ ) із (21) отримаємо:

$$\alpha = \frac{p'}{c} \left(1 + \frac{V_r c}{\omega_0 p'}\right) = \alpha_{st} \left(1 + \frac{V_r c}{\omega_0 p'}\right). \quad (22)$$

За наявності зазору між циліндрами (між зубцями зубчастих коліс) до удару, як було встановлено в роботі [3] (формула (6.4)):

$$V_r = \sqrt{\frac{2\Delta \cdot P}{m_1}} = \sqrt{\frac{2\Delta \cdot p' \cdot b}{m_1}}, \quad (23)$$

де  $\Delta$  – зазор між зубцями коліс, м;

$b$  – ширина зубця, м.

Підставляючи (23) у (22), враховуючи значення  $\omega_0$  і наведену масу коліс, отримаємо:

$$\alpha = \alpha_{st} \left(1 + \sqrt{\frac{2\Delta \cdot m_2 c b}{(m_1 + m_2) p'}}\right). \quad (24)$$

Для лінійної залежності між динамічною (статичною) силою, яка виникає під час деформації зубців, і величиною деформації поверхонь зубців (вираз (6)) можемо записати відношення між максимально допустимою динамічною силою  $p_{\max}$  і інтенсивністю зовнішнього навантаження  $p'$ , а саме:

$$\frac{P_{\max}}{p'} = \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{st}} \tag{25}$$

Враховуючи (25), із (23) отримаємо формулу для визначення гранично допустимого зазору у спряженні між зубцями прямозубої шестеренної зубчастої передачі у вигляді:

$$\Delta_{\max} = \frac{(m_1 + m_2) p' k_1^2}{2m_2 c b}, \tag{26}$$

де  $k_1 = \frac{P_{\max}}{p'} - 1$  – коефіцієнт динамічності навантаження,

$P_{\max} = \frac{2,862 \sigma_{\max}^2 \rho}{E}$ . Остання формула отримана із виразу (4), враховуючи, що  $\rho_1 = \rho_2 = \rho$  і  $E_1 = E_2 = E$ .

Із формул (6) і (7) при  $V_r = 0$  знаходимо:

$$c = \frac{\pi \cdot E}{2(1 - \mu^2) \ln \frac{\pi e^{\frac{2}{3}} \rho E}{p'(1 - \mu^2)}} \tag{27}$$

Для сталених зубчастих коліс можна приймати  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>, а модуль Пуассона –  $\mu \approx 0,3$ . У цьому випадку:

$$c = \frac{3,523 \cdot 10^{11}}{\ln \left( 13,45 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\rho}{p'} \right)} \tag{28}$$

Наприклад, для ведучої шестерні коробки відбору потужності автоцистерни АЦ-63Б  $p' = 410650$  Н/м із формули (28) знаходимо  $c = 2,72 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>. Залежність коефіцієнта  $c$  від інтенсивності навантаження зубця  $p'$  наведено на рис. 1 (значення параметрів у системі СИ).

$$E := 2 \cdot 10^{11} \quad \mu := 0.3 \quad e^{\frac{2}{3}} = 1.948 \quad \rho := 0.1 \quad N := 10 \quad i := 0..10 \quad p_i := (1 + i) \cdot 10^5$$

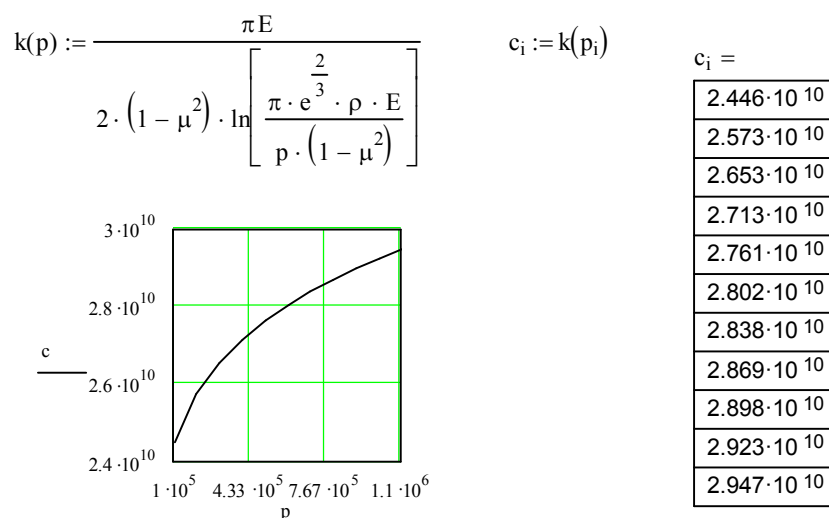


Рис. 1. Залежність коефіцієнта  $c$  від інтенсивності навантаження –  $p'$

Із рис. 1 видно, що під час зростання інтенсивності навантаження на порядок коефіцієнт  $C$  зростає приблизно на 20%. Під час зростання радіуса кривизни –  $\rho$  з 0,05 до 0,15 м коефіцієнт  $c$  зменшується приблизно на 9% (рис. 2). Формула (27) вказує також на залежність указанного коефіцієнта від модуля пружності  $E$  і від коефіцієнта Пуассона  $\mu$ , що потрібно враховувати у випадках, коли зубчасті шестерні виготовлені не зі сталі.

$$E := 2 \cdot 10^{11} \quad \mu := 0.3 \quad e^3 = 1.948 \quad p := 5 \cdot 10^5 \quad N := 10 \quad i := 0..10 \quad \rho_i := 0.05 + 0.01 \cdot i$$

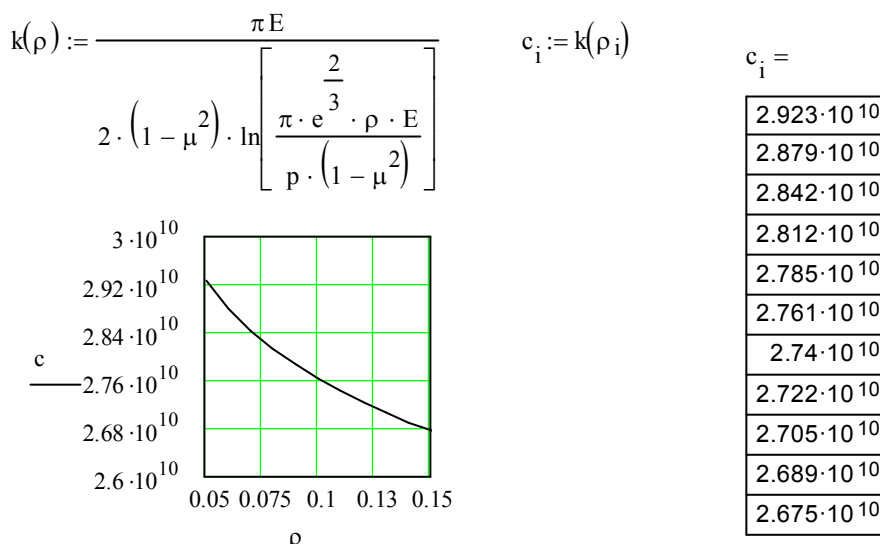


Рис. 2. Залежність коефіцієнта  $c$  від радіуса кривизни зубця –  $\rho$

Гранично допустимий зазор між зубцями прямозубих шестеренчастих передач визначається за формулою (26), з якої видно, що він залежить від інтенсивності навантаження зубців, коефіцієнта динамічності навантаження, маси зубчастих коліс, а також від коефіцієнта, який характеризує кривизну контактуючих поверхонь зубців та пружності матеріалу, з якого виготовляються колеса.

Наприклад, проведемо розрахунок гранично допустимого зазору між зубцями шестерень коробки відбору потужності автоцистерни АЦ-63Б, прийнявши такі дані: допустиме контактне напруження для хромистої сталі  $[\sigma]=12 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ , маси коліс  $m_1 = 1,5 \text{ кг}$ ,  $m_2 = 3 \text{ кг}$ , інтенсивність навантаження  $p' = 410650 \text{ Н/м}$ ,  $c = 2,72 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ ,  $\rho = 0,1 \text{ м}$ ,

динамічна сила  $p_{\max} = \frac{2,862 \cdot 144 \cdot 10^{16} \cdot 0,1}{2 \cdot 10^{11}} = 2,055 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$ , коефіцієнт динамічності на-

вантаження  $k_1 = \frac{p_{\max}}{p'} - 1 = \frac{2,055 \cdot 10^6}{4,1065 \cdot 10^5} - 1 \approx 4$ ; гранично допустимий зазор

$$\Delta_{\max} = \frac{0,75 \cdot 410650 \cdot 16}{2,72 \cdot 10^{10}} \approx 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Якщо припустити, що  $V_r \rightarrow 0$  (тобто  $\Delta \rightarrow 0$ ), і при цьому, як було встановлено раніше,  $\frac{\alpha}{\alpha_{st}} = 2$ , то із виразу (26) отримаємо формулу для визначення мінімального зазору у спряженні зубців, а саме:

$$\Delta_{\min} = \frac{(m_1 + m_2) p'}{2m_2 c}. \tag{29}$$

Підставляючи у формулу (29) наведені у прикладі значення параметрів, знаходимо  $\Delta_{\min} \approx 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ .

На рис. 3 показана залежність гранично допустимого зазору між зубцями прямозубих коліс від допустимого контактного напруження, яке, як видно із наведеного розрахунку і рис. 3, найбільш суттєво впливає на величину гранично допустимого зазору.

$$E := 2 \cdot 10^{11} \quad \rho := 0.1 \quad p := 4 \cdot 10^5 \quad m_1 := 1.5 \quad m_2 := 3 \quad c := 2.72 \cdot 10^{10} \quad N := 10 \quad i := 0..N$$

$$\sigma_i := 5 \cdot 10^8 + i \cdot 10^8 \quad \Delta(\sigma) := \frac{(m_1 + m_2) \cdot p \cdot \left( \frac{2.862 \cdot \sigma^2 \cdot \rho}{p \cdot E} - 1 \right)^2}{2m_2 \cdot c} \quad \Delta_{\max i} := \Delta(\sigma_i)$$

	0
0	$1.231 \cdot 10^{-7}$
1	$9.142 \cdot 10^{-7}$
2	$6.253 \cdot 10^{-6}$
3	$1.834 \cdot 10^{-5}$
4	$3.972 \cdot 10^{-5}$
5	$7.327 \cdot 10^{-5}$
6	$1.222 \cdot 10^{-4}$
7	$1.901 \cdot 10^{-4}$
8	$2.808 \cdot 10^{-4}$
9	$3.986 \cdot 10^{-4}$
10	$5.481 \cdot 10^{-4}$

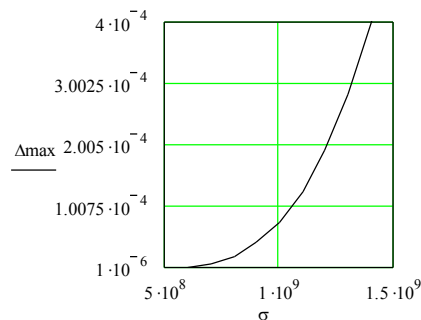


Рис. 3. Залежність гранично допустимого зазору між зубцями коліс від допустимого контактного напруження

Розглянута методика дозволяє визначати поверхневу деформацію зубців зубчастої передачі в зоні їх контакту залежно від зазору між зубцями, збуджуючих, інерційних, жорсткісних та демпфіруючих параметрів динамічної системи.

### Список використаних джерел

1. Динник А. Н. Избранные труды / А. Н. Динник. – К. : Изд-во АН УССР, 1952. – Т. 1. – 114 с.
2. Динник А. Н. Удар и сжатие упругих тел / А. Н. Динник. – К. : КПИ, 1909. – 113 с.
3. Костарчук Ю. В. Динаміка зубчастого зачеплення з урахуванням зазору у спряженні зубців / Ю. В. Костарчук, І. М. Хоменко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2005. – № 22. – С. 54–60.
4. Свекло В. А. Некоторые вопросы соударения упругих тел / В. А. Свекло // Контактные задачи и их инженерные приложения. – М. : НИИМАШ, 1969. – С. 182–186.
5. Сопротивление материалов / под ред. Г. С. Писаренко. – К. : Гостехиздат Украины, 1963. – 792 с.
6. Штаерман А. Я. Контактная задача теории упругости / А. Я. Штаерман. – М. : Гостехиздат, 1949. – 192 с.

## РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 629.5.016

**В.І. Богом'я**, д-р техн. наук

Інститут підготовки фахівців ДП «УкрНДНЦ», м. Київ, Україна

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

**В.И. Богомья**, д-р техн. наук

Институт подготовки специалистов ГП «УкрНДНЦ», г. Киев, Украина

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

**Volodymyr Bohomia**, Doctor of Technical Sciences

Institute Training Specialists of SE "UkrNDNC", Kyiv, Ukraine

### STRENGTHENING THE OPERATION OF MARINE SYSTEMS

*Наведено формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення.*

*На підставі формалізації розроблено математичну модель процесу експлуатації водних транспортних засобів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків необхідних показників ефективності процесу, що досліджується.*

**Ключові слова:** водний транспортний засіб, експлуатація, відновлення.

*Приведено формализованное описание процесса технического обслуживания и ремонта объектов судовых комплексов и их составляющих в виде регенерирующего процесса восстановления.*

*На основании формализации разработана математическая модель процесса эксплуатации водных транспортных средств, которая позволяет получить конечные аналитические выражения для расчетов необходимых показателей эффективности исследуемого процесса.*

**Ключевые слова:** водное транспортное средство, эксплуатация, восстановление.

*Powered formalized description of the maintenance and repair of marine systems and their components in the form of a regeneration process of recovery.*

*On the basis of the formalization of the mathematical model of the operation of water transport, which allows to obtain analytical expressions for the final calculation of the required performance of the test process.*

**Key words:** water vehicle, maintenance, restoration.

**Висвітлення стану проблеми.** Наявні моделі функціонування об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів судового обладнання суден. Тому для підвищення ефективності процесу експлуатації об'єктів суднових комплексів необхідно здійснити формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого обґрунтувати форму показників та критерію ефективності.

**Аналіз останніх досліджень.** Як показано у [4; 6; 7; 8], сучасні судна є складними технічними системами, що складаються зі значної кількості систем, модулів, вузлів, агрегатів (блоків) та окремих елементів, які є джерелами відмов з різними закономірностями зміни їх інтенсивності, можливостями з їх виявлення та усунення протягом експлуатації. У зв'язку з цим для адекватного опису процесу технічної експлуатації судна як складної технічної системи доцільне представлення його як виробу, що складається з множини комплектуючих виробів. Наприклад, сукупність модулів окремого блоку функціональної системи (ФС) судна, сукупність блоків ФС судна, сукупність функціональної системи судна тощо.

Ще однією особливістю [2; 4; 6], що необхідно враховувати під час дослідження ефективності системи відновлення та її впливу на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту судна, є те, що в реальній експлуатації відновлення працездат-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ності складових елементів судна проводиться за фактом виявлення відмови (передвідмовного стану) об'єкта контролю, незважаючи на його працездатність у цей момент. Наприклад, виявлена відмова резервного елемента працездатного об'єкта судових комплексів (пошкодження об'єкта СК) призводить до його заміни на повністю справний з подальшим відновленням справного стану.

**Мета статті.** Метою статті є необхідність **уникнути** недоліків наявних моделей функціонування об'єктів експлуатації та спроба розроблення формалізованого опису процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів судових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого провести обґрунтування форми показників та критерію ефективності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В межах цього дослідження будемо вважати, що відмова будь-якого основного елемента (вузол, блок, агрегат) призводить до непрацездатного стану судна.

Таким чином, під час розгляду судна як сукупності функціональних систем представимо його у вигляді СТС з елементами, що з'єднані за надійністю (безвідмовністю) послідовно [4].

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи судна (за умови відсутності або обмеженого обмінного фонду агрегатів) визначається, як [4; 6; 7]:

$$P_C(t) = \prod_{k=1}^K P_k(t), \quad Q_C(t) = 1 - P_C(t), \quad N_{оф_k}(t) \ll n_k(t),$$

де  $P_C(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи судна;  $P_k(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $k$ -го комплектуючого виробу;  $Q_C(t)$  – ймовірність відмови судна;  $N_{оф_k}(t)$  – кількість об'єктів  $k$ -го типу в обмінному фонді експлуатанта;  $n_k(t)$  – кількість відмов об'єкта  $k$ -го типу за період експлуатації, що досліджується.

Таке представлення дає змогу вважати судно системою, що є визначеним узагальненням послідовних систем, для кожної з яких може бути знайдено свій показник ефективності. В цьому випадку показник ефективності судна загалом представлено як добуток показників ефективності цих підсистем, тобто в такому випадку судно формалізовано як систему з мультиплікативним коефіцієнтом ефективності і згідно з обраними в [4] показниками ефективності визначимо стаціонарний коефіцієнт готовності судна  $K_{zC}$ :

$$K_{zC} = \prod_{j=1}^k K_{zj}, \quad (1)$$

де  $K_{zj}$  – стаціонарний коефіцієнт готовності  $j$ -ї підсистеми.

**Обґрунтування форми показників ефективності та критерію оптимальності.** Як вказано у [3], у зв'язку зі складністю судна як технічної системи, а також впливу на процес його експлуатації широкого спектра випадкових факторів, ефективність процесу технічного обслуговування та ремонту характеризується значною кількістю показників. При цьому основними вимогами до показників ефективності є: простота, інформаційна забезпеченість, достатня точність, чутливість, повнота та відсутність надмірності [2; 3].

У практиці оцінювання ефективності експлуатації таких складних технічних систем, як судно застосовуються різні форми показників ефективності: ймовірність випадкової події, ступінь ймовірнісної гарантії досягнення результату, не нижче заданого рівня, середній результат, середній квадрат відхилень результату від того, що вимагається, дисперсія результату тощо [2]. Враховуючи розроблений формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту як стохастичного процесу відновлення справності

об'єктів суднових комплексів, визначимо формально показник його ефективності як математичне очікування загальної функції відповідності  $\rho$  мети, що досягнута  $Y^{(R)}$  [1; 3] тій, що вимагається  $Y_6^{(R)}$  [1; 3], під час використання варіанта  $u \in U$  [3]:

$$\vec{W}(u) = M \left[ \rho \left\{ Y^{(R)}(u), Y_6^{(R)} \right\} \right], u \in U, \quad (2)$$

де  $Y^{(R)}(u) = \left( g^{(r_1)}(u), C^{(r_2)}(u), Tr^{(r_3)}(u), F^{(r_4)}(u), T^{(r_5)}(u), \dots \right)$ ;

$U = (u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n)$  – множина допустимих варіантів (стратегій) побудови процесу відновлення, що формуються з множини керованих параметрів процесу ТО і Р об'єктів СК.

Процес  $\omega(t)$  визначається вектором параметрів процесу відновлення як керованих  $A_u = \{A_{u1}, A_{u2}, \dots, A_{un}\}$ , так і некерованих  $A_v = \{A_{v1}, A_{v2}, \dots, A_{vk}\}$ , а також параметрами, що характеризують умови застосування судна  $A_R = \{A_{R1}, A_{R2}, \dots, A_{Rn}\}$ . Зазвичай поділ параметрів на керовані та некеровані умовний та залежить від виду задачі, що вирішується. В деяких задачах частина керованих параметрів може виступати як задана (некерована). Крім того, керовані параметри можуть викликати зміну некерованих [2]. Як правило, під час формування системи відновлення бортового обладнання судна до керованих параметрів будемо відносити: види контролю, засоби контролю, що застосовуються на різних етапах технічного обслуговування і ремонту, повноту та глибину контролю, інструментальну достовірність засобів контролю, що розглядаються, періодичність контролю, повноту відновлення, чисельність та кваліфікацію особового складу тощо.

До некерованих параметрів  $A_v$  відносяться – конструктивні характеристики та надійність об'єктів СК, трудовитрати на контроль і пошук місця відмови із застосуванням цього засобу контролю.

До параметрів  $A_R$  віднесено інтенсивність польотів, їх тривалість, характер завдань, що виконуються та ін.

У реальних умовах кількість можливих варіантів обмежена. Виходячи з цього завдання вибору раціонального варіанта організації процесу відновлення суднових комплексів судна вдається звести до задачі у варіантній постановці, за якої з множини альтернативних варіантів необхідно обрати найбільш сприятливий. Альтернативні варіанти  $u_j$  формуються зміною значень компонент вектора  $u$ ,

$$u = (\lambda, \mu, x, P, q, Q, \eta, T),$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов об'єкта суднових комплексів;  $\mu$  – інтенсивність самостійного прояву відмови об'єкта суднових комплексів;  $x$  – періодичність контролю;  $P$  – імовірність виявлення відмови засобом контролю;  $q$  – імовірність надання засобом контролю інформації про «хибну» відмову;  $Q$  – повнота відновлення об'єкта суднових комплексів в експлуатуючій організації;  $\eta$  – повнота контролю відмов (пошкоджень);  $T$  – тривалість експлуатації об'єкта суднових комплексів.

У зв'язку з тим, що залучення об'єктів суднових комплексів у різні стани процесу реальної експлуатації статистично повторюються, а як його формальний опис обрано схему регенеруючого процесу, то для оцінювання ефективності такого процесу будемо використовувати показники ефективності математичного сподівання результату:

$$\vec{W}(u) = M \left[ Y^{(R)}(u) \right], W_r(u) = M [y_r(u)], r = \overline{1, R}, u \in U, \quad (3)$$



де  $W_r(u)$  – часткові показники ефективності використання  $u$ -го варіанта організації процесу відновлення суднових комплексів судна, надійності (безвідмовності) економічної та інших видів ефективності експлуатації судна;

$y_r(u)$  – часткові характеристики результату експлуатації судна.

Показник (3) є частковим випадком показника ефективності [6], за якого функція відповідності дорівнює реальному результату [2]:

$$\rho \{Y^{(R)}(u), Y_e^{(R)}\} = Y^{(R)}(u).$$

Показники середнього результату (3) знайшли широке розповсюдження у дослідженнях ефективності складних технічних систем. Це обумовлено властивістю їх адитивності, що значною мірою спрощує їх оцінювання, та полягає в тому, що у випадку можливості представлення результату  $Y^{(R)}(u)$  процесу експлуатації системи, що досліджується, у вигляді суми результатів окремих його етапів  $Y^{(R)}_i(u)$  [4; 7]:

$$Y^{(R)}(u) = \sum_i Y^{(R)}_i(u),$$

то середній результат процесу, що розглядається, представимо у вигляді суми середніх часткових результатів, незважаючи на можливу їх стохастичну залежність [3; 5]:

$$M \left[ \sum_i Y^{(R)}_i(u) \right] = \sum_i M \left[ Y^{(R)}_i(u) \right].$$

Вибір та обґрунтування показників ефективності суднових комплексів судна дозволяє оцінити різні варіанти (стратегії або режими) їх відновлення та обрати для сформульованого критерію  $K$  «найкращий» варіант  $u^*$  при заданих умовах експлуатації  $A$ . Як відомо [1; 4; 6; 7; 8], критерій ефективності  $K$  є правилом, що дозволяє порівняти варіанти  $u \in U$ , що характеризуються різним ступенем досягнення мети, та здійснити направлений вибір варіантів  $u$  з множини допустимих  $U$ . Під час використання концепції оптимізації застосовуються критерії найбільшого результату у формі: найбільшого середнього результату, найбільшої імовірнісної гарантії результату, найбільшого гарантованого результату та ін.

Під час використання як показників ефективності процесу відновлення об'єктів суднових комплексів показника середнього результату (3), виберемо найбільш прийнятний критерій оптимальності стратегій, що розглядаються  $u \in U$ , відновлення суднових комплексів судна – критерій найбільшого середнього результату [2]. Згідно з цим критерієм оптимальним є той варіант  $u^*$ , за якого [2; 3]:

$$u^* : \max_{u \in U} (\min) W_r(u) = \max_{u \in U} (\min) M [y_r(u)], \quad r = \overline{1, R}.$$

Тоді критерієм ефективності процесу, що досліджується, є отримання максимуму економічного виграшу під час зміни організації процесу відновлення за умови забезпечення заданого рівня коефіцієнта готовності [3; 5]:

$$W(U) = \max_{k=1, n} \left\{ M [C_{\sigma \Sigma}(u_{icn})] - M [C_{\sigma \Sigma}(u_k)] \right\}, \quad \text{при } K_{\sigma k} \geq K_{u_{icn}}, \quad (4)$$

де  $U = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_n)$  – множина визначених допустимих варіантів організації процесу відновлення;

$u_k = u_l \cup u_m$  – множина параметрів процесу експлуатації;

$u_l = (Q_j, k_{оф})$  – множина керованих параметрів процесу експлуатації;

$u_m = (\lambda_j, \mu_j, T_j, x_i, \eta_i, P_i, q_i, T_{зак}, T_{AP3})$  – множина некерованих параметрів процесу експлуатації;

$M[C_{\sigma\Sigma}(u_{icn})]$  – середня сумарна вартість відновлення суднових комплексів судна за період, що розглядається, за наявної організації системи відновлення;

$M[C_{\sigma\Sigma}(u_k)]$  – середня сумарна вартість відновлення суднових комплексів судна за період, що розглядається, при альтернативних варіантах організації системи відновлення.

**Висновки.** Розроблено формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого обґрунтовані форма показників та критерію ефективності. Здійснена математична постановка часткових задач дослідження.

На підставі формалізації розроблено математичну модель процесу експлуатації об'єктів суднових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків необхідних показників ефективності процесу, що досліджується. Модель дозволяє оцінити вплив системи відновлення суднових комплексів як сукупності засобів контролю, діагностичних і ремонтних засобів, комплектів запасних елементів, виконавців, що взаємодіють з об'єктом експлуатації за встановленими правилами, на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту.

У межах розробленої моделі розглядаються підходи щодо визначення впливу на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів їх повноти відновлення в умовах експлуатанта та багатоетапності процесу технічного обслуговування з урахуванням повноти контролю технічного стану об'єктів судового обладнання судна.

#### Список використаних джерел

1. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. – М. : Высшая школа, 1982. – 231 с.
2. Богом'я В. І. Аналіз особливостей організації системи відновлення суднових комплексів в сучасних умовах / В. І. Богом'я, О. І. Стадник, О. О. Коваль // Стандартизація, сертифікація, якість. – Х. : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – Вип. 1. – С. 44–48.
3. Богом'я В. І. Математична модель функціональних систем судового обладнання / В. І. Богом'я, О. І. Стадник, О. О. Коваль // Системи обробки інформації. – Х. : Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 1 (126). – С. 102–105.
4. Волков Л. И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов / Л. И. Волков. – М. : Высшая школа, 1981. – 368 с.
5. Навігаційне забезпечення управління рухом суден : навч. посіб. / [Богом'я В. І., Давидов В. С., Доронін В. В., Пашков Д. П., Тихонов І. В.]. – К. : ДВВП «Компас», 2012. – 336 с.
6. Смирнов Н. Н. Обслуживание и ремонт техники по состоянию / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – М. : Транспорт, 1987. – 277 с.
7. Судостроение и судостроение (статистика, экономика, цены) / ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. – СПб., 2006. – 260 с.
8. Технично-економическіе характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. – М. : В/О «Мортехинформреклама», 1992. – 232 с.

**В.І. Кальченко**, д-р техн. наук

**О.С. Следнікова**, асистент

**Д.В. Кальченко**, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### **3D-МОДЕЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ПРОЦЕСУ ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ТОРОВОЇ ПОВЕРХНІ І КРУГА**

**В.И. Кальченко**, д-р техн. наук

**Е.С. Следникова**, ассистент

**Д.В. Кальченко**, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### **3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ, ПРОЦЕССА СНЯТИЯ ПРИПУСКА И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ТОРОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ И КРУГА**

**Vitalii Kalchenko**, Doctor of Technical Sciences

**Olena Sliednikova**, assistant

**Dmytro Kalchenko**, student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### **3D-MODELING OF TOOL, THE PROCESS OF REMOVAL OF ALLOWANCE AND FORMATION IN GRINDING WITH CROSSED AXES OF TORUS SURFACE AND CIRCLES**

*Запропоновано трьохмірне геометричне моделювання інструментів, зняття припуску та формоутворення торових поверхонь. Шліфування деталі виконується профільованим шліфувальним кругом зі схрещеними осями його та деталі. Досліджено вплив кута повороту інструменту на точність формоутворення у розроблених способах оброблення увігнутих поверхонь деталей.*

***Ключові слова:** трьохмірне геометричне моделювання, поверхня деталі з профілем у вигляді дуги кола, формоутворення, шліфувальний круг, орієнтація інструменту, схрещені осі.*

*Предложено трехмерное геометрическое моделирование инструментов, снятия припуска и формообразования обрабатываемых поверхностей с профилем в виде дуги окружности. Шлифование детали выполняется профилированным шлифовальным кругом со скрещивающимися осями его и детали. Исследовано влияние угла поворота инструмента на точность формообразования в разработанных способах обработки вогнутых поверхностей деталей.*

***Ключевые слова:** трехмерное геометрическое моделирование, поверхность детали с профилем в виде дуги окружности, формообразование, шлифовальный круг, ориентация инструмента, скрещенные оси.*

*A proposed three dimensional geometric modeling tools, and the stock removal work surfaces forming a profile in the form of a circular arc. Grinding parts performed profiled grinding wheel with crossed axis and its parts. The influence of the angle of rotation of the tool on the accuracy in shaping the developed processing methods concave surfaces of the parts.*

***Key words:** three-dimensional geometric modeling, surface parts with a profile in the form of a circular arc forming, grinding wheel, the orientation of the tool axis crossed.*

**Постановка проблеми.** Наявна тенденція розвитку трьохмірного геометричного моделювання у країнах, де розвинене машинобудування. Однак сучасні 3D-моделі недостатньо враховують особливості інструментів з надтвердих матеріалів та зняття припуску в процесі шліфування. В умовах, коли вітчизняне машинобудування прагне стати конкурентоспроможним та високоефективним, ця проблема набуває народногосподарського значення.

У сучасному машинобудуванні широко використовуються деталі, які мають високоточні поверхні з профілем у вигляді дуги окружності, наприклад, внутрішні кільця кулькопідшипників, барабани стрічкових машин, шківні ремінних передач, натяжні ролики, валки трубопрокатних станів. До робочих поверхонь цих деталей висуваються високі вимоги як за геометричною точністю, так і за якістю оброблення. Кінцева якість таких деталей визначається абразивним шліфуванням.

Найбільш продуктивним способом шліфування поверхонь обертання з профілем у вигляді дуги окружності є формоутворення методом копіювання. Зняття припуску методом

копіювання відбувається за рахунок поперечного переміщення круга у площині, яка проходить через осі обертання його і деталі. Цей метод високоефективний, йому притаманна простота формуютьуючих рухів. При цьому товщина шару, що зрізається, вздовж профілю абразивного інструменту, в результаті чого виникає нерівномірне зношення [14]. Також різна продуктивність оброблення у процесі врізання, максимальне значення подачі, а оберт при цьому визначається в момент формоутворення центральної точки профілю [2].

Розроблення нових взаємопов'язаних модульних 3D-моделей інструментів, зняття припуску та формоутворення, які описують процес шліфування зі схрещеними осями увігнутої поверхні деталі і круга, їх дослідження сприятимуть створенню нових високоефективних способів шліфування та їх впровадженню у промисловість.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У роботі [7] у процесі зняття припуску глибина різання, площа контакту круга з деталлю змінюються за координатою оброблення профілю. Це знижує продуктивність і точність оброблення.

У роботах [3; 4] наведені 3D-моделі формоутворення поверхонь і проектування інструментів під час оброблення різанням без розгляду оптимізації кута повороту шліфувального круга.

Вперше модульне 3D-моделювання формуютьуючих систем шліфувальних верстатів, інструментів та оброблюваних поверхонь наведено в роботі [8], де показано переваги модульного 3D-моделювання. В монографії [1] показано ієрархію узагальнюючих модульних 3D-моделей і сфери їх використання. Однак у роботах [1; 8; 13] проаналізовано оптимізацію кута повороту інструменту під час оброблення поверхонь деталей з профілем у вигляді дуги кола.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Відсутність оптимізації кута повороту під час оброблення поверхонь деталей у вигляді дуги кола.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є створення трьохмірної геометричної моделі, яка описує інструмент, зняття припуску та формоутворення поверхонь деталей з профілем у вигляді дуги кола та оптимізація кута нахилу під час оброблення цих деталей. Це дозволить за загальним алгоритмом аналізувати процеси зняття припуску та формоутворення, розробити нові способи і на їх основі створити високоефективні технології шліфування різних поверхонь деталей з профілем у вигляді дуги кола.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1, а зображено формоутворення жолоба, при цьому радіус профілю шліфувального круга  $R_k$  дорівнює радіусу жолоба  $R_d$ . Знімання припуску отримують за рахунок поперечної подачі  $S_n$ . Величина врізання  $l$  більша припуску  $\delta$ , вона залежить від кута  $\alpha$ , зі збільшенням якого величина врізання зростає.

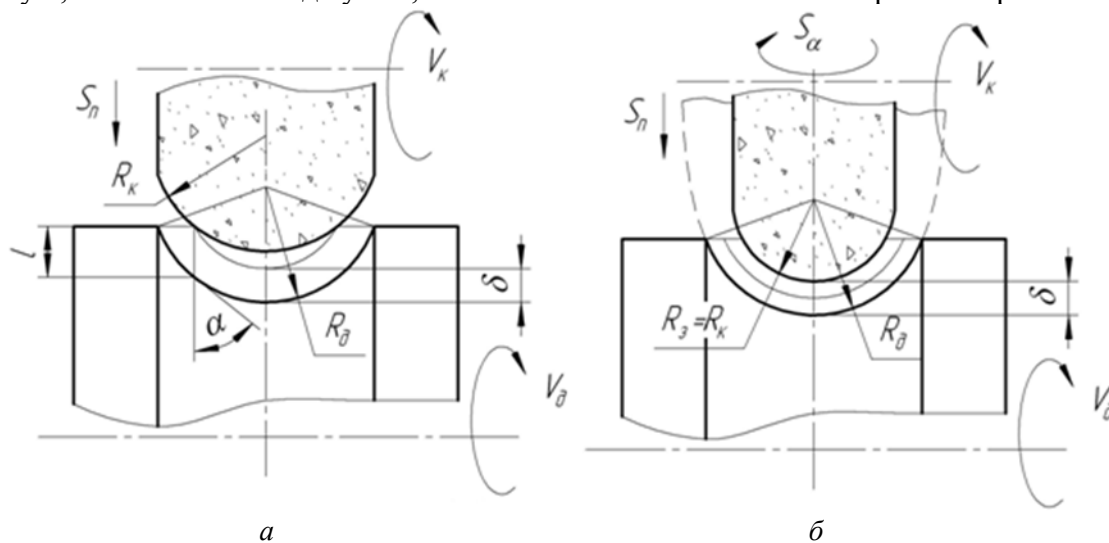


Рис. 1. Наявні методи оброблення торового жолоба

На рис. 1, б зображено формоутворення жолоба з поворотом шліфувального круга навколо нормалі. Знімання припуску здійснюється за рахунок поперечної подачі  $S_p$  і повороту шліфувального круга навколо нормалі  $S_\alpha$ . Поворот шліфувального круга вибирають з умови, що після його правки радіус осевого профілю круга  $R_k$  повинен дорівнювати чи бути менше радіуса заготовки. При цьому спочатку вісь обертання круга і вісь гвинта лежать в одній площині. Круг підводять до дотику з заготовкою, при цьому круг по всьому профілю дотикається до радіуса заготовки. Оброблення ведеться на верстатах з ЧПК, причому при поперечній подачі синхронно здійснюється поворот таким чином, щоб знімання припуску здійснювалось по еквідистантних кривих. При цьому величина врізання  $l$  дорівнює припуску  $\delta$ .

Схема оброблення наведена на рис. 2. Вона включає оброблюваний жолоб і шліфувальний круг, повернутий навколо осі у на кут  $\alpha$  (для старого способу  $\alpha=0$ ).

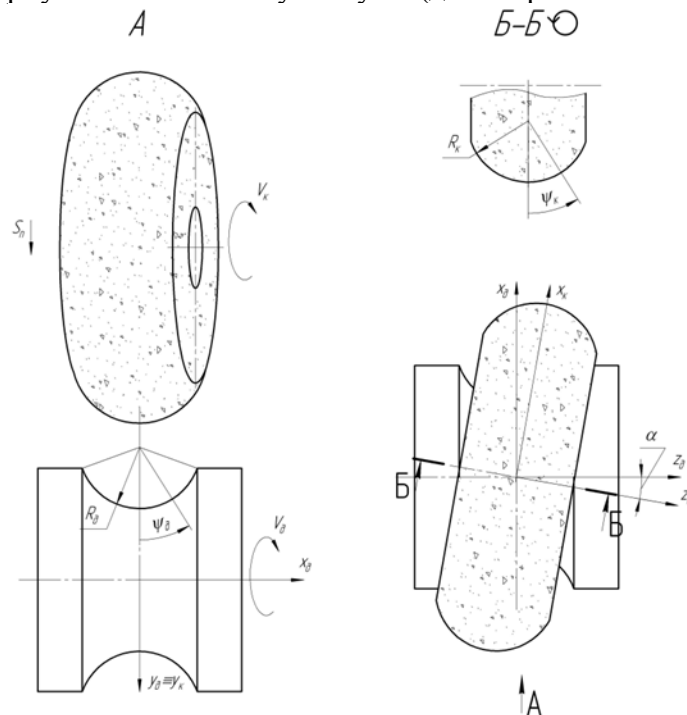


Рис. 2. Схема шліфування поверхні деталі з профілем у вигляді дуги кола

Для розроблення трьохмірної геометричної моделі зняття припуску та точності формоутворення під час шліфування поверхні деталі з профілем у вигляді дуги кола необхідно описати інструментальну поверхню.

Трьохмірна геометрична модель поверхні деталі з профілем у вигляді дуги кола описується матрицями, які обумовлюються наявністю таких параметрів:  $\theta_d$  – кут повороту навколо осі  $O_dZ_d$  обертання деталі;  $R_d$  – відстань від центра профілю до осі обертання деталі;  $\psi_d$  – кут повороту навколо осі  $O_dX_d$ ;  $\rho_d$  – радіус профілю деталі.

У трьохмірних геометричних моделях використовуються однокоординатні матриці  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ , які описують переміщення вздовж напрямків  $X_d, Y_d, Z_d$  та повороти навколо осей  $O_dX_d, O_dY_d, O_dZ_d$ .

$$\bar{r}_d = M_6(\theta_d) \cdot M_2(R_d) \cdot M_4(\psi_d) \cdot M_2(\rho_d) \cdot \bar{e}^4, \tag{1}$$

де  $\bar{e}^4 = (0,0,0,1)^T$  – радіус-вектор початкової точки.

Радіус-вектор інструменту можна представити як добуток однокоординатних матриць

$$\bar{r}_i = M_6(\theta_i) \cdot M_2(R_i) \cdot M_4(\psi_i) \cdot M_2(\rho_i) \cdot \bar{e}^4, \tag{2}$$

де  $\bar{r}_i$  – радіус-вектор поверхні круга;

$\theta_i$  – кут повороту навколо осі  $O_iZ_i$  обертання інструменту;

$R_i$  – відстань від центра профілю інструменту до його осі обертання;

$\psi_i$  – кут повороту навколо осі  $O_iX_i$ ;

$\rho_i$  – радіус профілю кола.

Номинальна поверхня поверхні деталі з профілем у вигляді дуги кола описується радіусом-вектором шліфувального круга, сферичним модулем орієнтації та сферичним модулем формоутворення, тобто матрицю переходу  $M_{i0}$ :

$$\bar{r}_{i0} = M_{i0} \cdot r_i, \quad (3)$$

$$M_{i0} = M_6(\theta_0) \cdot M_2(y_c) \cdot M_5(\alpha_i), \quad (4)$$

де  $\theta_0$  – кут повороту системи координат деталі відносно осі обертання інструменту;

$y_c$  – відстань між осями обертання інструменту і деталі;

$\alpha_i$  – кут повороту круга відносно осі, що перпендикулярна осям обертання деталі й інструменту, і проходить через центр профілю радіуса  $\rho_i$ .

Враховуючи формули (2), (3), (4), рівняння обробленої поверхні має вигляд:

$$\bar{r}_{i0} = M_6(\theta_0) \cdot M_2(y_c) \cdot M_5(\alpha_i) \cdot M_6(\theta_i) \cdot M_2(R_i) \cdot M_4(\psi_i) \cdot M_2(\rho_i) \cdot \bar{e}^4. \quad (5)$$

Для профілювання круга необхідно скласти рівняння, що визначає лінію контакту

$$\bar{V} \cdot \bar{n} = 0, \quad (6)$$

де  $\bar{V}$  – вектор швидкості відносного руху випуклої торової поверхні деталі в системі координат круга;

$\bar{n}$  – одиничний вектор нормалі до поверхні деталі [12].

Вектор нормалі дорівнює векторному добутку векторів дотичних до поверхні деталі. Для їхнього визначення необхідно диференціювати радіус-вектор поверхні деталі за обома параметрами  $\theta_{i0}$  і  $\phi_{i0}$ . Для знаходження вектора  $\bar{V}_{i0}$  відносної швидкості необхідно перенесений радіус-вектор  $\bar{r}_{i0}(\theta_{i0}, \phi_{i0})$  (1) поверхні деталі в систему координат круга диференціювати його за часом.

Таким чином, рівняння (7) можна представити у вигляді

$$\left( \frac{\partial \bar{r}_{i0}}{\partial \psi_i} \cdot \frac{\partial \bar{r}_{i0}}{\partial \theta_i} \right) \cdot \frac{\partial \bar{r}_{i0}}{\partial \theta_0} = 0, \quad (7)$$

де  $\frac{\partial \bar{r}_{i0}}{\partial \psi_i} \cdot \frac{\partial \bar{r}_{i0}}{\partial \theta_i} = \bar{n}$  – вектор нормалі до інструментальної поверхні в точці з координатами  $\psi$  та  $\theta_i$ ;

$\frac{\partial \bar{r}_{i0}}{\partial \theta_0} = \bar{V}$  – вектор швидкості руху інструменту відносно деталі.

У рівнянні (5) кутовий параметр  $\theta_i$  єдиний, який змінюється у процесі оброблення, тому під час визначення вектора відносної швидкості радіус-вектор деталі необхідно диференціювати за параметром  $\theta_i$ . Швидкість руху деталі відносно круга визначається через матрицю переходу з системи координат деталі в систему координат інструменту

$$\frac{\partial \bar{r}_{i0}}{\partial \theta_0} = \frac{\partial M_6(\theta_i)}{\partial \theta_i} \cdot \frac{\partial \theta_i}{\partial \theta_0} \cdot M_{i0}, \quad (8)$$

де  $\frac{\partial \theta_i}{\partial \theta_0} = \omega_{i0}$  – кутова швидкість обертання деталі відносно осі круга.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Під час зняття припуску лінія контакту обертається навколо осі деталі за спіраллю Архімеда. Поточна поверхня заготовки утворюється у вигляді випуклого тора перемінного профілю з поточним по координаті оброблення радіусом.

Оброблення поверхонь деталей з профілем у вигляді дуг кола орієнтованим шліфувальним кругом буде проводитись з похибкою, яка зумовлена невідповідністю радіусів профілю тора і проекції лінії контакту на осьову площину, що проходить через точку контакту на гребні торової поверхні. Таким чином, оброблення поверхні буде проводитись за допомогою послідовного уточнення: максимальна похибка оброблення буде проявлятися на перших значеннях і поступово буде зменшуватися з кожним наступним врізанням.

Знаходимо лінію контакту деталі та шліфувального круга (рис. 2) за допомогою програмного блока  $N\psi$  – кількість ділянок, на які ділимо лінію контакту,  $\psi_{min}$ ,  $\psi_{max}$  – кут початку та кінця лінії контакту відповідно.

$$N\psi := 20 \quad \psi_{min} := -\tau \quad \psi_{max} := \tau$$

```

PhiPsi := | theta <- 0
           | for j ∈ 0.. Npsi
           |   | psi <- psi_min + (psi_max - psi_min) / j
           |   | Theta <- root(N(0, theta, psi, 0, alpha) * V(0, theta, psi, 0, alpha), theta)
           |   | M<sup>j+1</sup> <- (psi)
           |   | M<sup>T</sup>
    
```

	1	2
1	-70	1.52·10 <sup>-3</sup>
2	-63	1.52·10 <sup>-3</sup>
3	-56	1.52·10 <sup>-3</sup>
4	-49	1.52·10 <sup>-3</sup>
5	-42	1.52·10 <sup>-3</sup>
6	-35	1.52·10 <sup>-3</sup>
7	-28	1.52·10 <sup>-3</sup>
8	-21	1.52·10 <sup>-3</sup>
9	-14	1.52·10 <sup>-3</sup>
10	-7	1.52·10 <sup>-3</sup>
11	0	1.52·10 <sup>-3</sup>
12	7	1.52·10 <sup>-3</sup>
13	14	1.52·10 <sup>-3</sup>
14	21	1.52·10 <sup>-3</sup>
15	28	1.52·10 <sup>-3</sup>
16	35	...

deg

Розрахунок лінії контакту деталі і шліфувального круга проводився за методикою, описаною у праці [9]. На рис. 3, а зображено лінію контакту круга без орієнтації, на рис. 3, б, в – з орієнтацією.

$$\Phi(\psi) := \text{interp}(\text{cspline}(\Phi_{\psi}^{(1)}, \Phi_{\psi}^{(2)}), \Phi_{\psi}^{(1)}, \Phi_{\psi}^{(2)}, \psi) \quad \psi := \psi_{min}, \psi_{min} + 0.001 \dots \psi_{max}$$

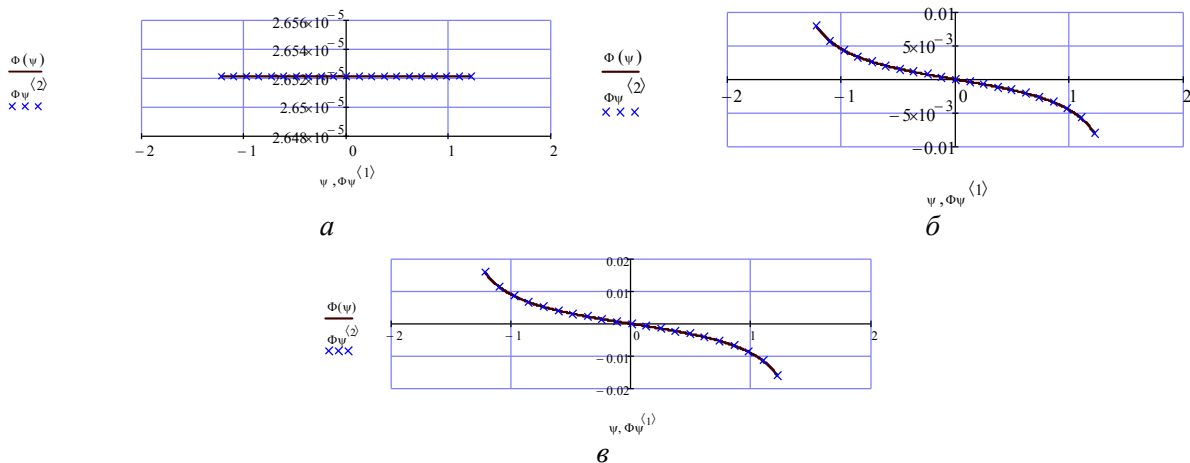


Рис. 3. Лінія контакту:  
а – при куті орієнтації 0°; б – 1°; в – 2°

Для побудови трьохмірної моделі запишемо рівняння для знаходження лінії контакту обробленої деталі та шліфувального круга.

Лінія контакту шліфувального круга з деталлю:

$$Lk(\psi) := r_{id}(0, \Phi(\psi), \psi, 0, \alpha). \tag{9}$$

Поверхню деталі отримуємо, додаючи параметр обертання деталі  $\theta$ :

$$\text{Det}(\theta, \psi) := r_{id}(\theta, \Phi(\psi), \psi, 0, \alpha). \quad (10)$$

Поверхня шліфувального круга в початковому положенні:

$$\text{Kruh}(\phi, \psi) := r_{id}(0, \phi, \psi, 0, \alpha). \quad (11)$$

Пляма контакту являє собою область, обмежену лінією контакту і лінією перетину шліфувального круга, зміщеного на величину подачі, з заготовкою. Плями контакту для старого і нового способів шліфування наведені на рис. 4. Пляма контакту під час шліфування неорієнтованим інструментом зображена на рис. 4, *а*, орієнтованим – рис. 4, *б*, *в*.

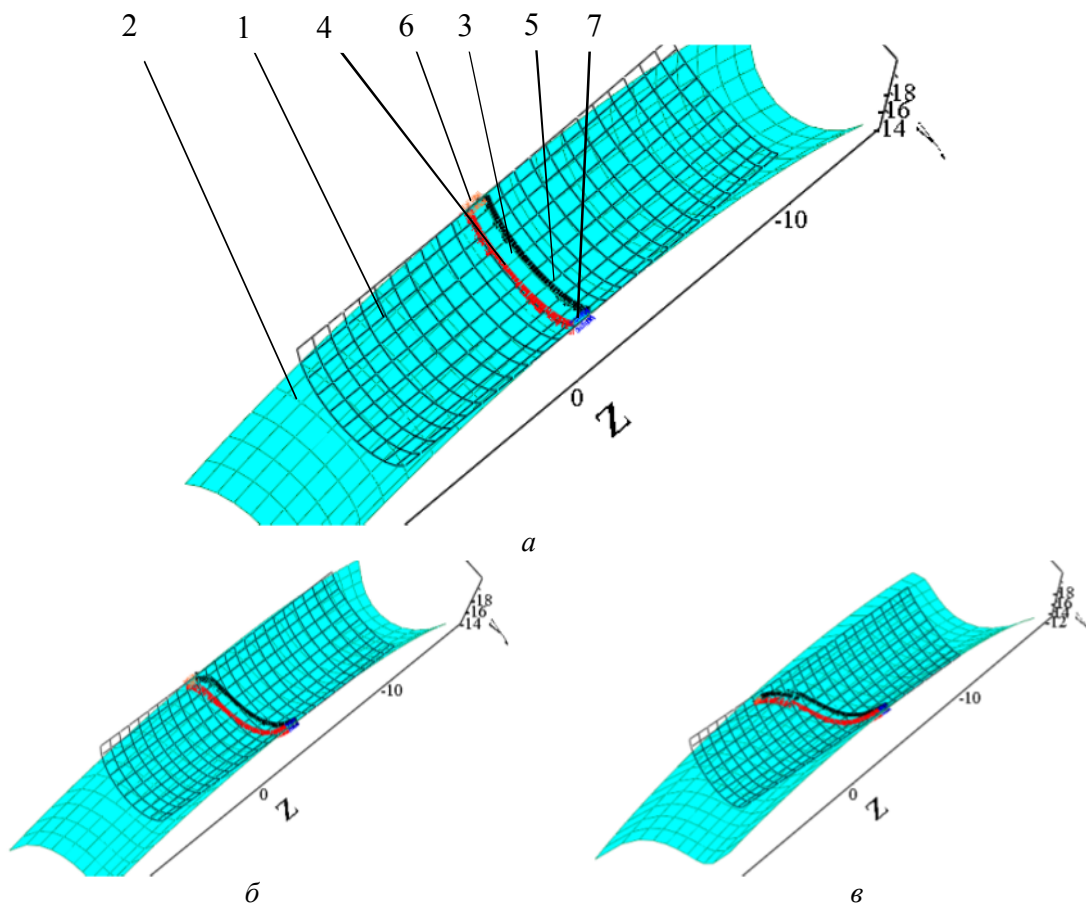


Рис. 4. Пляма контакту залежно від кута орієнтації шліфувального круга:

1 – шліфувальний круг; 2 – деталь; 3 – пляма контакту; 4 – лінія контакту; 5 – лінія перетину шліфувального круга і заготовки (лінія виходу шліфувального круга з припуску); 6, 7 – лінії перетину шліфувального круга з зовнішнім циліндром заготовки

За допомогою програми Mathcad побудуємо профіль обробленої деталі (рис. 5).



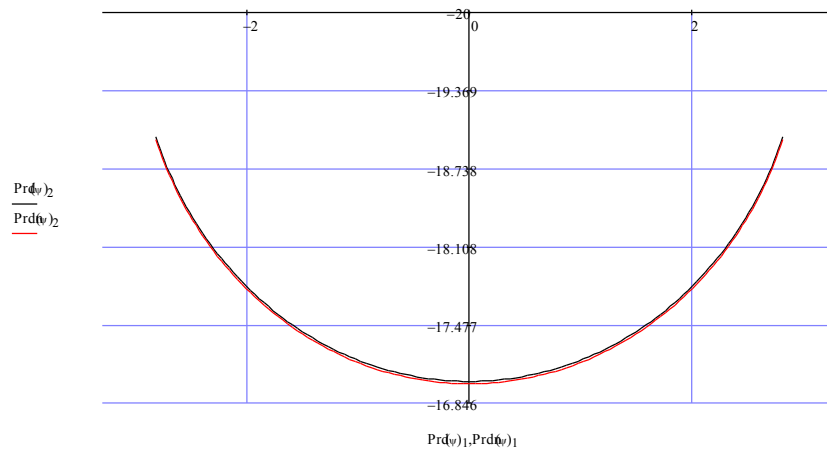


Рис. 5. Профіль деталі

Похибка торця  $\delta$  описується рівнянням (12).

$$\delta(\psi) = \sqrt{(\text{Pr } d(\psi)_1)^2 + (\text{Pr } d(\psi)_2)^2} - \sqrt{(\text{Pr } dn(\psi)_1)^2 + (\text{Pr } dn(\psi)_2)^2}, \quad (12)$$

де  $\text{Pr } d(\psi)_1, \text{Pr } d(\psi)_2$  – координати профілю деталі за відсутності похибки вздовж осей X та Y відповідно;

$\text{Pr } dn(\psi)_1, \text{Pr } dn(\psi)_2$  – координати профілю деталі під час оброблення орієнтованим інструментом вздовж осей X та Y відповідно.

Графік залежності похибки оброблення від кута орієнтації деталі зображено на рис. 6.

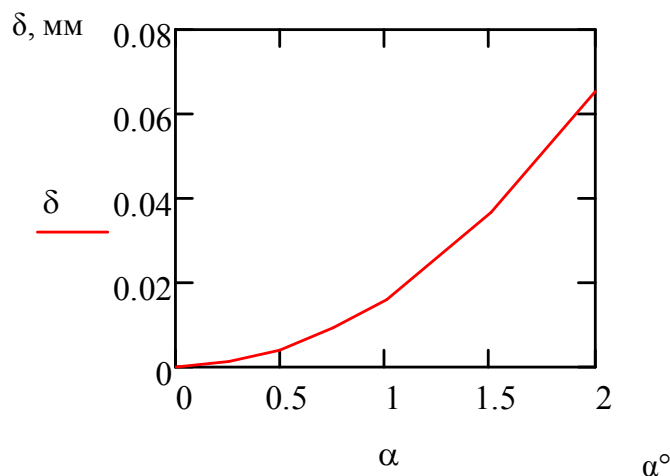


Рис. 6. Графік залежності похибки оброблення від кута орієнтації круга

Як бачимо з графіка, зі збільшенням кута орієнтації деталі похибка оброблення зростає. Залежно від потрібної точності оброблення обираємо кут повороту шліфувального круга.

**Висновки.** Запропоновано трьохмірне геометричне моделювання інструментів, зняття припуску та формоутворення поверхонь деталей з профілем у вигляді дуги кола.

З аналізу моделей розроблені нові способи шліфування увігнутих поверхонь кругом з профілем у вигляді дуги кола, радіус якого менший радіуса цих поверхонь, де у процесі оброблення відбувається орієнтація шліфувального круга. Потрібний кут нахилу шліфувального круга обирається залежно від допустимої похибки та розмірів інструменту. Круг повертається на кут, що забезпечить постійну глибину різання за коорди-

натою оброблення та зняття припуску за еквідистантними кривими, що підвищить продуктивність оброблення.

#### 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. *Григорьян Г. Д.* Обеспечение стабильности профиля резьбы ходовых винтов качения / Г. Д. Григорьян, В. Н. Мухортов // Станки и инструмент. – 1986. – № 12. – С. 23–24.
3. *Кальченко В. В.* Модульне 3D моделювання зняття припуску і формоутворення випуклих торових поверхонь зі скрещеними осями інструмента і деталі / В. В. Кальченко, А. М. Єрошенко // Наукові нотатки : збірник. – Луцьк : Луцький державний технічний університет, 2009. – № 24. – С. 230–238.
4. *Кальченко В. В.* Модульное 3D моделирование шлифования наружных торовых поверхностей со скрещивающимися осями круга и детали / В. В. Кальченко, А. М. Ерошенко // Учёные записки Крымского инженерно-педагогического университета : сборник. – Симферополь : КИПУ, 2008. – № 16. – С. 30–33.
5. *Кальченко В. В.* Наукові основи ефективного шліфування зі скрещеними осями абразивного інструменту та деталі : дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Кальченко. – Х. : НТУ «ХП», 2006. – 489 с.
6. *Кальченко В. И.* Повышение производительности и точности шлифования со скрещивающимися осями эльборового круга и ступенчатого валика / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научн.-техн. сб. – Х. : НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 80. – С. 131–140.
7. *Кальченко В. И.* Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей / В. И. Кальченко. – М. : Машиностроение, 1979. – 160 с.
8. *Кальченко В. І.* Глибинне кругле шліфування зі скрещеними осями деталі і круга / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, М. А. Дмитренко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 2009. – № 37. – С. 64–72.
9. *Кальченко В. І.* Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі скрещеними осями ступінчастого вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – № 3 (67). – С. 91–99.
10. *Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці* / Н. С. Равська, П. Р. Родин, Т. П. Ніколасенко, П. П. Мельничук. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 232 с.
11. *Перепелица Б. А.* Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием / Б. А. Перепелица. – Х. : Вища школа, 1991. – 512 с.
12. *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.
13. *Решетов Д. Н.* Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1996. – 336 с.
14. *Эльянов Э. Д.* Шлифование в автоматическом цикле / Э. Д. Эльянов. – М. : Машиностроение, 1980. – 101 с.

**С.Ф. Филоненко**, д-р техн. наук

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

**С.Ф. Філоненко**, д-р техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

### МОДЕЛЮВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ У РАЗІ ЗМІНИ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

**Sergey Filonenko**, Doctor of Technical Sciences

National Aviation University, Kiev, Ukraine

### SIMULATION OF ACOUSTIC EMISSION LEGITIMACIES DURING THE CHANGE OF COMPOSITE MATERIAL CUTTING DEPTH

*Получены закономерности изменения энергетических параметров акустического излучения в зависимости от глубины резания при механической обработке композиционного материала для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя. Проведено описание закономерностей изменения среднего уровня энергии сигналов акустической эмиссии, его стандартного отклонения и дисперсии от глубины резания. Показано, что наиболее чувствительным параметром акустической эмиссии к глубине резания композиционного материала является дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала акустической эмиссии.*

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, композиционный материал, результирующий сигнал, амплитуда, энергия, механическая обработка, статистические характеристики.

*Отримано закономірності зміни енергетичних параметрів акустичного випромінювання залежно від глибини різання під час механічного оброблення композиційного матеріалу для термоактиваційної моделі руйнування поверхневого прошарку. Проведено опис закономірностей зміни середнього рівня енергії сигналів акустичної емісії, його стандартного відхилення і дисперсії від глибини різання. Показано, що найбільш чутливим параметром акустичної емісії до глибини різання композиційного матеріалу є дисперсія середнього рівня енергії результирующего сигналу акустичної емісії.*

**Ключові слова:** акустична емісія, композиційний матеріал, результирующий сигнал, амплітуда, енергія, механічне оброблення, статистичні характеристики.

*The regularity of acoustic radiation energy parameters change depending on cutting depth at machine work of composite material for thermoactivative model of surface layer destruction are obtained. The description of legitimacies change of acoustic emission signals energy average level, its standard deviation and dispersion from a cutting depth is conducted. It is noted, that the most sensing parameters of acoustic emission to a cutting depth of composite material is the dispersion of acoustic emission energy average level resultant signal.*

**Key words:** acoustic emission, composite material, resultant signal, amplitude, energy, machining, statistical characteristics.

**Постановка проблемы.** Акустическая эмиссия (АЭ) широко используется при исследовании процессов механической обработки материалов с кристаллической структурой и композиционных материалов (КМ). Исследования направлены на оптимизацию параметров технологических процессов механической обработки для получения изделий заданного качества, а так же на разработку методов их контроля, диагностики и мониторинга. При этом разрабатываются и методы контроля с использованием нейронных сетей.

Как показывают результаты исследований, по сравнению с традиционными методами (измерение сил резания, температуры, вибраций и других параметров), метод АЭ обладает высокой чувствительностью к внутренним процессам, которые происходят в структуре материалов при их деформировании и разрушении. Однако большое количество факторов, определяющих технологический процесс механической обработки материалов, усложняет интерпретацию регистрируемой информации и анализ их влияния на параметры сигналов АЭ. Это приводит к неоднозначности в закономерностях изменения параметров АЭ и ограниченному практическому использованию метода АЭ при разработке методов контроля, диагностики и мониторинга технологических процессов механической обработки материалов с традиционной структурой и КМ. Значительное

количество факторов влияет и на достоверность разработанных узкоспециализированных АЭ методов контроля и диагностики, а также приводит к усложнению экспериментальных исследований и возрастанию временных затрат на их выполнение.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Как показывают обзорные публикации, для исследования процессов механической обработки материалов используется метод АЭ [1–3]. Проводимые исследования направлены на оптимизацию технологических параметров механической обработки, а так же разработку методов их контроля и мониторинга, включая контроль и мониторинг состояния режущего инструмента. В основе проводимых исследований лежат представления об источниках акустического излучения [1] при деформировании и разрушении материалов. К таким источникам относят: пластическую деформацию и разрушение обрабатываемого материала; трение стружки по передней грани; трение инструмента по обрабатываемой поверхности; разрушение стружки; соударение стружки с обрабатываемой поверхностью; фазовые превращения; разрушение обрабатывающего инструмента и другие. В тоже время в экспериментальных исследованиях регистрируются непрерывные сигналы АЭ с сильно изрезанной формой и выбросами амплитуды [4–6]. Непрерывный процесс акустического излучения связывают с деформированием и разрушением поверхностного слоя обрабатываемого материала при работе режущего инструмента в нормальном или изношенном состоянии, а выбросы амплитуды регистрируемых сигналов АЭ – с разрушением (повреждением) режущего инструмента.

При исследовании процессов механической обработки КМ проводят анализ влияния технологических параметров на акустическое излучение. Одним из таких параметров является глубина резания. Однозначное влияние глубины резания на параметры экспериментальных сигналов АЭ показано в ряде работ при выполнении различных видов механической обработки КМ [7–10]. При этом, как правило, проводят анализ среднего или среднеквадратического значения (СКЗ) амплитуд, а также статистических амплитудных параметров регистрируемых сигналов АЭ. Результаты проведенных исследований показывают различный характер закономерностей изменения амплитудных параметров АЭ при возрастании глубины резания. Полученные закономерности являются противоречивыми и неустойчивыми. В работах [7; 8] показано, что изменение СКЗ и среднего значения амплитуд регистрируемых сигналов АЭ, его стандартного отклонения, коэффициентов асимметрии и эксцесса распределения амплитуд при возрастании глубины резания имеют сложный характер изменения. В тоже время в работах [9; 10] получено, что возрастание СКЗ амплитуд сигналов АЭ происходит линейным образом. Аналогичные результаты получены и в ряде других работ [11; 12].

В работах [13; 14] рассмотрены результаты теоретических исследований амплитудных характеристик АЭ при изменении глубины резания для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя КМ. По результатам проведенных исследований и обработки данных моделирования получены зависимости изменения среднего уровня амплитуды результирующих сигналов АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии при возрастании глубины резания КМ. Показано, что закономерности изменения среднего уровня амплитуды результирующих сигналов АЭ и его стандартного отклонения хорошо описываются линейными функциями. В тоже время дисперсия среднего уровня амплитуды возрастает нелинейным образом и хорошо описывается степенной функцией.

Интерес представляет получение и описание закономерностей изменения энергетических параметров результирующего сигнала АЭ и определение их чувствительности к глубине резания КМ.

**Нерешенные части проблемы.** Для оценки влияния различных факторов на параметры АЭ и повышения достоверности методов контроля процессов механической об-

работки КМ безусловное значение имеют теоретические исследования. Такие исследования должны базироваться на моделях формирования акустического излучения при механической обработке КМ с учетом влияния технологических параметров и физико-механических характеристик обрабатываемого и обрабатывающего материалов. Моделирование закономерностей акустического излучения и закономерностей изменения его параметров, с учетом действия влияющих факторов, является основой выбора оптимальных параметров механической обработки КМ и разработки методов контроля и мониторинга технологических процессов изготовления изделий.

Одним из параметров процесса механической обработки КМ является глубина резания. Определение закономерностей изменения энергетических параметров акустического излучения при изменении глубины резания с их математическим описанием для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя КМ, безусловно, представляет научный и практический интерес.

**Цель статьи.** Целью работы является исследование и описание закономерностей изменения энергетических параметров АЭ при возрастании глубины резания КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя.

**Изложение основного материала.** Проведем моделирование энергии акустического излучения при изменении глубины резания КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя. Моделирование проведем при условии, что в процессе механической обработки происходит последовательное деформирование и разрушение элементарных площадок поверхностного слоя КМ. При этом деформирование элементарных площадок, которые имеют одинаковую и постоянную площадь, происходит в области упругости до разрушения, а разрушение каждой площадки сопровождается формированием одиночного импульса АЭ. Последовательное разрушение элементарных площадок во времени приводит к последовательному излучению импульсных сигналов АЭ, которые в совокупности формируют результирующий сигнал АЭ. Моделирование энергии акустического излучения проведем по выражению вида

$$E_p(t) = \sum_j E_{jR}(t - t_j), \quad (1)$$

где  $t_j = j\Delta t_j \pm \delta$  – моменты времени появления импульсных сигналов АЭ  $E_{jR}$ , возникающих при последовательном разрушении  $j$ -ых площадок КМ;  $j$  – номер разрушаемой площадки КМ или номер формируемого импульсного сигнала АЭ ( $j=0, 1, \dots, n$ );  $\delta$  – случайная составляющая в моменте времени появления каждого последующего импульсного сигнала АЭ;  $E_{jR} = U_{jR}^2$ ;  $U_{jR}$  – амплитуды  $j$ -го сигнала АЭ.

Модель импульсного сигнала АЭ  $U_R$  для термоактивационного разрушения поверхностного слоя КМ рассмотрена в работе [15].

По результатам проведенного моделирования проведена статистическая обработка данных с определением среднего уровня энергии результирующих сигналов АЭ, стандартного отклонения среднего уровня энергии результирующих сигналов АЭ и дисперсии среднего уровня энергии результирующих сигналов АЭ. Результаты расчетов приведены в табл., где приняты следующие обозначения:  $\tilde{\theta}$  – параметр, характеризующий площадь разрушения (глубину резания) поверхностного слоя КМ;  $\tilde{E}$  – средний уровень энергии результирующего сигнала АЭ;  $s_{\tilde{E}}$  – стандартное отклонение среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ;  $s_{\tilde{E}}^2$  – дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ.

Энергетические статистические характеристики результирующих сигналов АЭ при возрастании площади разрушения поверхностного слоя КМ

$\tilde{\theta}$	$\tilde{E}$	$S_{\tilde{E}}$	$S_{\tilde{E}}^2$
1,0	$8,08568 \cdot 10^{-14}$	$5,27677 \cdot 10^{-14}$	$2,78443 \cdot 10^{-27}$
1,5	$1,49524 \cdot 10^{-13}$	$1,02916 \cdot 10^{-13}$	$1,05918 \cdot 10^{-26}$
2,0	$2,23871 \cdot 10^{-13}$	$1,69706 \cdot 10^{-13}$	$2,88001 \cdot 10^{-26}$
2,5	$3,21097 \cdot 10^{-13}$	$2,59533 \cdot 10^{-13}$	$6,73573 \cdot 10^{-26}$
3,0	$4,1238 \cdot 10^{-13}$	$3,33727 \cdot 10^{-13}$	$1,11374 \cdot 10^{-25}$

Согласно полученным данным (табл.), на рис. 1 показаны зависимости изменения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии в зависимости от глубины резания КМ.

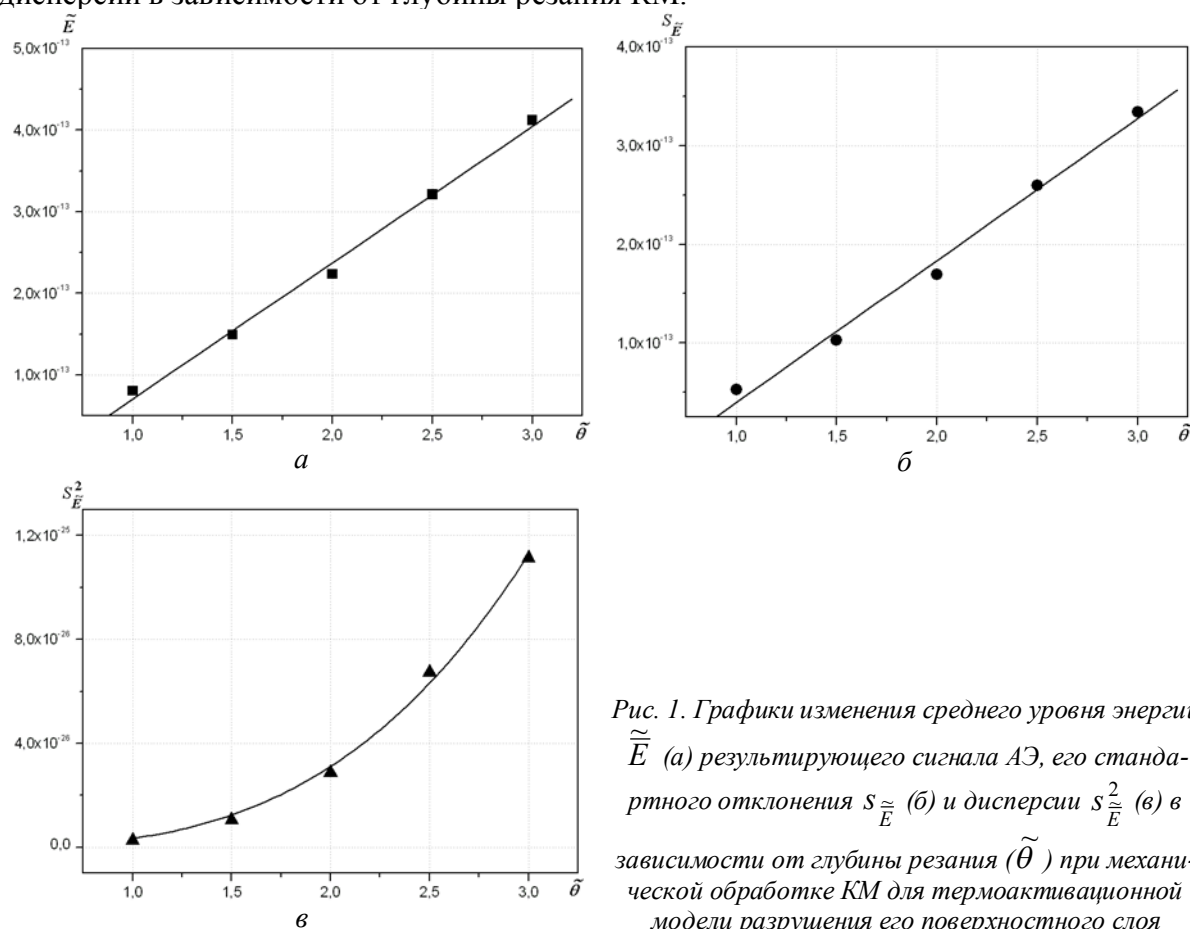


Рис. 1. Графики изменения среднего уровня энергии  $\tilde{E}$  (а) результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения  $S_{\tilde{E}}$  (б) и дисперсии  $S_{\tilde{E}}^2$  (в) в зависимости от глубины резания ( $\tilde{\theta}$ ) при механической обработке КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя

Из рис. 1 видно, что при увеличении площади разрушения поверхностного слоя КМ зависимости изменения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ и его стандартного отклонения имеют линейный характер возрастания, а дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ возрастает нелинейно.

Статистическая обработка данных с аппроксимацией полученных зависимостей показала, что изменение среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ и его стандартного отклонения (рис. 1, а, б) хорошо описываются функцией вида

$$\tilde{Z} = a + b\tilde{\theta}, \quad (2)$$

где  $\tilde{Z}$  – энергетический параметр результирующего сигнала АЭ – средний уровень энергии или его стандартное отклонение;  $a$  и  $b$  – коэффициенты аппроксимирующего выражения.

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  аппроксимирующего выражения (2) составляют: для зависимости изменения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ -  $a = -9,6302 \cdot 10^{-14}$ ;  $b = 1,66924 \cdot 10^{-13}$ ; для зависимости изменения стандартного отклонения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ  $a = -1,03684 \cdot 10^{-13}$ ;  $b = 1,43707 \cdot 10^{-13}$ . При описании зависимостей рис. 1,  $a$ ,  $b$  выражением (2) коэффициенты корреляции  $R$  и остаточная дисперсия  $SD^2$  составляют: для зависимости изменения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ -  $R = 0,99732$ ,  $SD^2 = 1,11822 \cdot 10^{-14}$ ; для зависимости изменения стандартного отклонения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ -  $R = 0,99524$ ,  $SD^2 = 1,28394 \cdot 10^{-14}$ .

Статистическая обработка данных с аппроксимацией зависимости изменения дисперсии  $s_{\tilde{E}}^2$  среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ (рис. 1,  $\epsilon$ ) показала, что зависимость хорошо описывается выражением вида

$$s_{\tilde{E}}^2 = m \tilde{\theta}^n, \tag{3}$$

где  $m$  и  $n$  – коэффициенты аппроксимирующего выражения.

Значения коэффициентов  $m$  и  $n$  аппроксимирующего выражения (3) составляют:  $m = 3,4372 \cdot 10^{-27}$ ;  $n = 3,17786$ .

При описании зависимости рис. 1,  $\epsilon$  выражением (3) коэффициент детерминации  $R^2$  и остаточная дисперсия  $SD^2$  составляют:  $R^2 = 0,99649$ ,  $SD^2 = 9,522 \cdot 10^{-54}$ .

Для определения чувствительности энергетических параметров результирующих сигналов АЭ к изменению глубины резания КМ при его механической обработке проведена обработка данных с построением зависимостей изменения процентного прироста среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии. Результаты обработки данных в виде зависимостей изменения процентного прироста среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии ( $\Delta Z$ ) от глубины резания КМ, по отношению к их начальным значениям при  $\tilde{\theta} = 1$ , показаны на рис. 2.

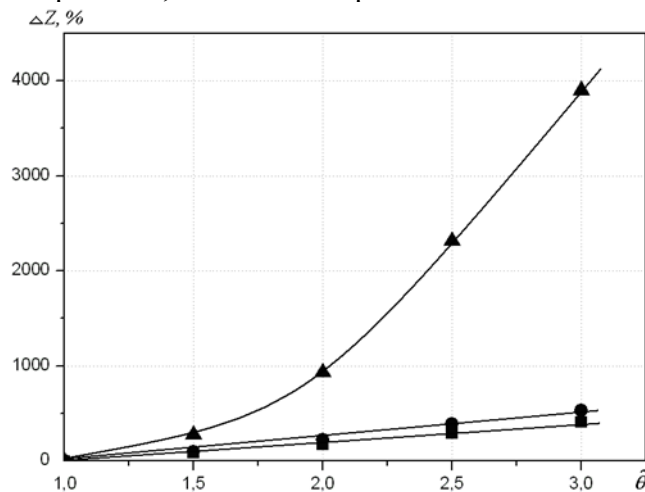


Рис. 2. Графики изменения процентного прироста среднего уровня энергии  $\tilde{E}$  (■) результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения  $s_{\tilde{E}}$  (●) и дисперсии  $s_{\tilde{E}}^2$  (▲) в зависимости от глубины резания ( $\tilde{\theta}$ ) при механической обработке КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя

Полученные результаты показывают, что для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя при увеличении глубины резания КМ следует ожидать возрастания среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии. Однако наибольшее возрастание наблюдается в дисперсии среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ (рис. 2). Процентный прирост дисперсии среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ является максимальным. Действительно, при возрастании глубины резания (площади разрушения поверхностного слоя) КМ в 2,5 раза (до  $\tilde{\theta}=2,5$ ) процентный прирост среднего уровня энергии  $\tilde{E}$  результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения  $s_{\tilde{E}}$  и дисперсии  $s_{\tilde{E}}^2$ , соответственно, составляют: 297,12, 391,84 и 2319,07 %. При возрастании  $\tilde{\theta}$  в 3,0 раза (до  $\tilde{\theta}=3,0$ ) процентный прирост  $\tilde{E}$ ,  $s_{\tilde{E}}$  и  $s_{\tilde{E}}^2$ , соответственно, составляют: 410,01, 532,45 и 3899,87 %.

**Выводы.** Проведено исследование закономерностей изменения энергетических параметров акустического излучения при механической обработке КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя в зависимости от глубины резания. Выполнена статистическая обработка данных с аппроксимацией зависимостей изменения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии при возрастании глубины резания. Показано, что зависимости изменения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ и его стандартного отклонения хорошо описываются линейными функциями, а зависимость изменения дисперсии среднего уровня энергии – степенной функцией. При описании зависимостей получены значения коэффициентов корреляции и детерминации, а также остаточных дисперсий. Сделана обработка данных с определением процентного прироста энергетических параметров АЭ при возрастании глубины резания КМ. Показано, что наиболее чувствительным параметром АЭ при увеличении глубины резания является дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ. Процентный прирост дисперсии среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ значительно опережает процентный прирост среднего уровня энергии и его стандартного отклонения.

Полученные результаты показывают, что анализ дисперсии среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ может использоваться в качестве основного параметра при разработке методов контроля и мониторинга технологических процессов механической обработки КМ с определением глубины резания КМ.

В тоже время интерес представляет исследование энергетических параметров акустического излучения при изменении физико-механических характеристик обрабатываемого КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя.

#### Список использованных источников

1. Kovač, P. A review of machining monitoring systems / P. Kovač, I. Mankova, M. Gostimirović, M. Sekulić, B. Savković // Journal of production engineering. – 2011. – Vol. 14. – No 1. – P. 1–6.
2. Dongre P. R. Tool condition monitoring in various machining operations & use of acoustic signature analysis / P. R. Dongre, S. S. Chiddarwar, V. S. Deshpande // International Journal on Mechanical Engineering and Robotics (IJMER). – 2013. – Vol. 1, No. 1. – P. 34–38.
3. Jaber A. A. The State of the Art in Research into the Condition Monitoring of Industrial Machinery / A. A. Jaber, R. Bicker // International Journal of Current Engineering and Technology. – 2014. – V. 4. – No. 3. – P. 1986–2001.
4. Qin F. Delamination wear of nano-diamond coated cutting tools in composite machining / F. Qin, J. Hu, Y. K. Chou, R. G. Thompson // Wear. – 2009. – Vol. 267. – P. 991–995.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. *Lu P.* An investigation into interface behavior and delamination wear for diamond-coated cutting tools / P. Lu // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in the department of mechanical engineering (The university of Alabama). – 2013. – 155 p.
6. *Teti R.* Advanced IT methods of signal processing and decision making for zero defect manufacturing in machining / R. Teti // *Procedia CIRP.* – 2015. – Vol. 28. – P. 3–15.
7. *Ronald B. A.* Studies on grooving of dispersion strengthened metal matrix composites / B. A. Ronald, L. Vijayaraghavan, R. Krishnamurthy // *Materials forum.* – 2007. – Vol. 31. – P. 102–109.
8. *Fadare D. A.* Influence of cutting parameters and tool wear on acoustic emission signal in high-speed turning of Ti-6Al-4V Alloy / D. A. Fadare, W. F. Sales, J. Bonney, E. O. Ezugwu // *J. of Emerging Trends in Engin. and Applied Sciences.* – 2012. – Vol. 3. –No3. – P. 547–555.
9. *Giriraj B.* Prediction of progressive tool wear using acoustic emission technique and artificial neural network / B. Giriraj // *Journal of Civil Engineering Science: An International Journal.* – 2012. – Vol. 1. – No. 1–2. – P. 43–46.
10. *Thepsonthi T.* Modeling and optimization of micro-end milling process for micro-manufacturing / T. Thepsonthi // A dissertation submitted for the degree of doctor of philosophy (The State University of New Jersey). – 2014. – 246 p.
11. *Mcleay T.* Failure mode analysis to define process monitoring systems / T. Mcleay, M. S. Turner // *Journal of Machine Engineering.* – 2011. – Vol. 11. – No. 4. – P. 118–129.
12. *Hase A.* Acoustic Emission Signal during Cutting Process on Super-Precision Micro-Machine Tool / A. Hase // *Proceedings of Global Engineering, Science and Technology Conference (3–4 October, 2013, Bay View Hotel, Singapore).* – 2013. – P. 1–12.
13. *Филоненко С. Ф.* Акустическая эмиссия при изменении площади разрушения поверхностного слоя обрабатываемого композиционного материала / С. Ф. Филоненко // *Вісник інженерної академії України.* – 2015. – № 1. – С. 252–257.
14. *Филоненко С. Ф.* Влияние различных факторов на закономерности изменения акустической эмиссии при обработке композиционных материалов / С. Ф. Филоненко // *Вісник інженерної академії України.* – 2015. – № 2. – С. 195–200.
15. *Filonenko S.* Acoustic emission model with thermoactivative destruction of composite material surface / S. Filonenko // *Proceedings of the National Aviation University.* – 2015. – № 1 (62). – P. 57–62.

УДК 62-843.4

С.С. Некрасов, канд. техн. наук

С.В. Кудін, студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

**ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗІ ЗМІННИМ ОБ'ЄМОМ РОБОЧОЇ КАМЕРИ**

С.С. Некрасов, канд. техн. наук

С.В. Кудин, студент

Сумский государственный университет, г. Суммы, Украина

**ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ СО СМЕННЫМ ОБЪЕМОМ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ**

Serhii Nekrasov, PhD in Technical Sciences

Serhii Kudin, student

Sumy State University, Sumy, Ukraine

**INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH VARIABLE VOLUME OF THE WORKING CHAMBER**

*Розглянуто нову конструкцію двигуна внутрішнього згорання з можливістю зміни його робочого об'єму в процесі роботи. Така конструкція двигуна дозволяє зменшити витрати палива на режимах, коли не використовується його максимальна потужність, ці режими актуальні під час пересування автомобіля по місту. Зміна робочого об'єму двигуна під час його роботи можлива за рахунок використання принципово нової конструкції двигуна та використання нової конструкції колінчастого вала. Зміна робочого об'єму камери згорання здійснюється за допомогою гідравлічного циліндра, встановленого на колінчастому валу. Така конструкція двигуна дозволяє знизити його масу при збереженні потужності.*

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згорання, змінний об'єм робочої камери, регулювання потужності, ступінь рухомості, економний двигун.

*Рассмотрена новая конструкция двигателя внутреннего сгорания с возможностью изменения его рабочего объема в процессе работы. Такая конструкция двигателя позволяет уменьшить затраты топлива на режимах, когда не используется его максимальная мощность, эти режимы актуальны при передвижении автомобиля по городу. Изменение рабочего объема двигателя во время его работы возможна за счет использования принципиально новой конструкции двигателя и использования новой конструкции коленчатого вала. Изменение рабочего объема камеры сгорания осуществляется при помощи гидравлического цилиндра, установленного на коленчатом валу. Такая конструкция двигателя позволяет снизить его массу при сохранении мощности.*

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, переменный объем рабочей камеры, регулирование мощности, степень подвижности, экономный двигатель.

*This paper present the new design of the internal combustion engine with the possibility of changing its working volume in the process. Engine of modern cars works in a wide range of power. When engine working in the urban cycle he does not use much power. This design of engine allows reducing fuel consumption when not using its maximum power such modes actual vehicle while moving in the city. This results in poor fuel economy and high CO<sub>2</sub> emissions. Changing the working volume of the engine while it is running is possible by using a fundamentally new engine design. This is achieved by using a unique crankshaft and connecting rod system by means of the cross that allows the distance the pistons travel to be adjusted on an immediate and continual manner during adjusting the combustion volume in order to maintain the same compression ratio. The crankshaft of the engine is significantly different from existing designs. Change in the working volume by movement of the hydraulic cylinder arranged on the crankshaft. When using such an engine are not observed vibration characteristic of conventional internal combustion engine. Engine design can significantly reduce its weight while maintaining the power.*

**Key words:** internal combustion engine, variable volume working chamber, power control, the degree of motion, the economic engine.

**Постановка проблеми.** У наш час дуже популярні автомобілі. Вони заповнили наш життєвий простір, а як відомо, саме головне в автомобілі – це його двигун. Тому сьогодні виготовляють тягові агрегати з різним об'ємом і різної потужності для задоволення потреб споживача та його вимог до експлуатаційних характеристик. Але під час роботи двигуна на різних режимах він розвиває різну потужність, що не завжди є необхідним. З метою економії палива потрібно розробити двигун зі змінною величиною робочого об'єму.

**Зміна робочого об'єму двигуна**

Загальновідомо, що велику потужність може розвивати двигун лише значних розмірів, однак це має деякі недоліки: вага двигуна, його габаритні розміри, споживання па-

льного, ціна на комплектуючі частини. Цю проблему можна вирішити за допомогою нового двигуна з новою конструкцією та можливостями: двигун з безступінчастою зміною об'єму, який був запропонований Стівом Арнольдом у 2014 році, – це двигун внутрішнього згоряння з плавною зміною робочого об'єму камери згоряння [6, с. 177–189].

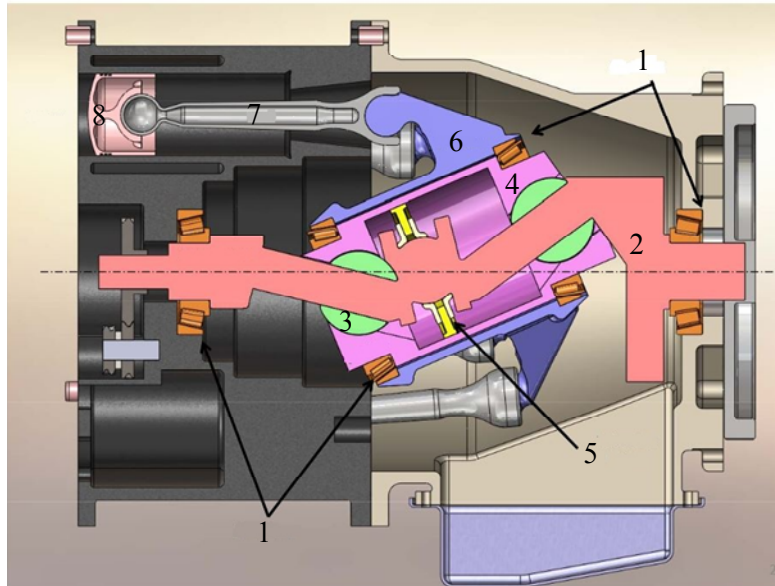


Рис. 1. Двигун з безступінчастою зміною робочого об'єму: 1 – підшипник; 2 – колінчастий вал; 3 – втулка; 4 – муфта; 5 – активний поршень; 6 – тримаюча корона; 7 – шатун; 8 – поршень

Це абсолютно нова конструкція (рис. 1), яка складається з 9 поршнів 8, на кожному по три поршневі кільця, що сферично закріплені з шатуном 7. Шатун у свою чергу також закріплений сферично з так званою короною 6 (на якій будуть закріплені всі 9 шатунів), кріпиться ця частина до муфти 4, яка може пересуватися по колінчастому валу 2. Саме це рішення і є абсолютно новим у цьому двигуні. Анімацію роботи двигуна можна переглянути за посиланням <https://youtu.be/m7mh6lGQ58g>.

Відомо, що двигуни в легкових автомобілях можуть виробляти високу потужність для задоволення потреб водія в керуваності і продуктивності [5]. На жаль, такі двигуни працюють ефективно лише на високих потужностях і дуже неефективно при малих навантаженнях, у такому режимі вони найчастіше працюють, пересуваючись по місту. Це призводить до високого споживання палива та до більшої кількості викидів CO<sub>2</sub>.

#### Виклад основного матеріалу.

#### Переваги двигуна зі змінним робочим об'ємом

Розглянутий механізм двигуна з безступінчастою зміною робочого об'єму принципово змінює докорінну будову двигуна, яка практично не змінилася з моменту винаходу двигуна внутрішнього згоряння.

Цей агрегат працює, як і будь-який інший двигун, від згоряння палива в робочій камері поршня, тим самим передаючи енергію на шатун, далі на колінчастий вал, який у свою чергу вже з'єднаний з коробкою швидкостей чи насосом.

Особливість цього двигуна полягає в новій будові. Форма його колінчастого вала не має аналогів, тим самим це робить його унікальним і в цьому полягає принцип роботи. За рахунок такої форми по ньому може без перешкод переміщуватися муфта, яка і є регулятором об'єму двигуна. На муфті вже на підшипниках закріплена тримаюча корона, на якій знаходяться дев'ять шатунів з поршнями. Також муфту і колінчастий вал поєднує активний поршень, який і керує переміщенням муфти по валу. Переміщення відбувається за рахунок гідравлічної рідини, що проходить по двох гідравлічних шлангах до камер всередині самої муфти [4, с. 28–33].

Таке рішення в декілька разів поліпшує характеристики і можливості цього двигуна. Саме тому сьогодні є можливість регулювати об'єм двигуна, що дозволяє йому працювати в оптимальних умовах, співвідносячи навантаження та оберти двигуна.

Безступінчаста система зміни робочого об'єму двигуна розширює робочий діапазон високої ефективності там, де двигун працює під час нормального пересування. Це досягається за допомогою системи колінчастого вала і підключення системи тяг, що дозволяє скорегувати відстань поршнів на негайній і постійній основі під час регулювання швидкості згоряння, а також для підтримки ступеня стиснення.

Такий двигун виключає втрату тяги, а також знижує втрати на зношення поршневих частин більш ніж на 50 %, і підтримує повний коефіцієнт розширення повного ходу в ще менших рівнях потужності [2, с. 45–51].

Дослідження потужності двигуна показують поліпшення на 30 % витрати палива у порівнянні з еквівалентним об'ємом бензинового двигуна звичайного зразка (рис. 2).

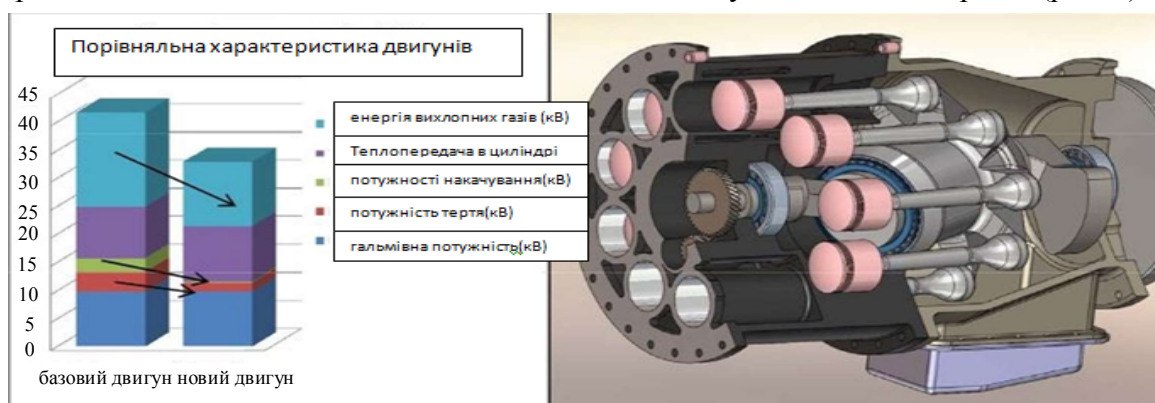


Рис. 2. Порівняльна характеристика двигунів

Він має набагато менші розміри, що дозволяє зменшити розміри моторного відсіку або використати простір для інших цілей. За рахунок такого розміщення циліндрів у двигуна буде набагато менша вібрація, що дозволить зменшити товщину сталі у місцях кріплення мотора [8].

### Вдосконалення конструкції

Але в нього є недоліки. Це система кріплення шатуна за допомогою сферичних поверхонь, таку конструкцію дуже важко виготовити, що значно збільшує вартість цього агрегата і зменшує його конкурентну спроможність на ринку силових машин.

Розглянемо детально кінематичну схему такого двигуна (рис. 3). Відомо, що деталі, які поєднані між собою з можливістю відносного переміщення, утворюють кінематичну пару. З кінематичної схеми такого двигуна видно, що він має 9 ланок, які, у свою чергу, утворюють 12 кінематичних пар різного виду та класу. Цей двигун має три обертальні кінематичні пари п'ятого класу, чотири поступальні кінематичні пари п'ятого класу та п'ять сферичних кінематичних пар третього класу [7]. Якщо визначити ступінь рухомості такого механізму за формулою Чебишева для просторових механізмів, то:

$$W = 6n - (5P_V + 4P_{IV} + 3P_{III} + 2P_{II} + P_I), \quad (1)$$

де  $n$  – кількість ланок механізму;

$P_V$  – кількість кінематичних пар п'ятого класу;

$P_{IV}$  – кількість кінематичних пар четвертого класу;

$P_{III}$  – кількість кінематичних пар третього класу;

$P_{II}$  – кількість кінематичних пар другого класу;

$P_I$  – кількість кінематичних пар першого класу.

Підставивши значення, будемо мати:

$$W = 6 \cdot 9 - (5 \cdot 7 + 4 \cdot 0 + 3 \cdot 5 + 2 \cdot 0 + 0) = 4.$$

Отже, розглянутий механізм двигуна має чотири ступені рухомості. Це означає, що такий механізм повинен мати чотири вхідні ланки, але в дійсності у двигуна одна вхідна ланка – поршень. Відповідно, такий механізм не може працювати. Дійсно, якщо розглянути кріплення шатуна, то з обох боків він має сферичні поверхні і таке поєднання матиме три ступені рухомості. Якщо шатун буде мати сферичне кріплення з обох боків, то він не зможе здійснювати точно спрямований рух, що буде заважати роботі такого механізму [1].

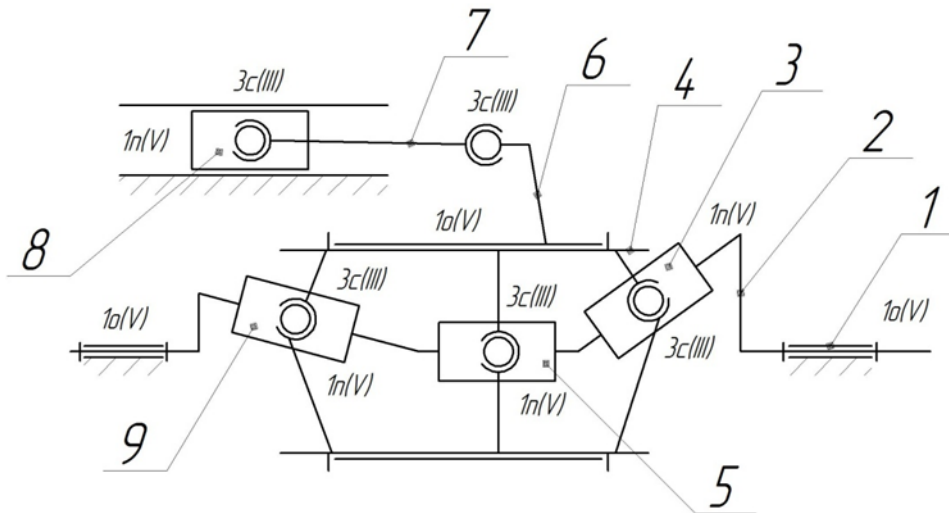


Рис. 3. Кінематична схема двигуна

Тобто такий двигун буде не тільки важко технологічно виготовити, але він ще не зможе здійснювати потрібні рухи. Для правильної роботи двигуна потрібно внести деякі зміни до конструкції. Автори пропонують змінити конструкцію саме шатуна. Поєднання шатуна з поршнем пропонується виконати таким же, як і у звичайних двигунах внутрішнього згорання, тобто за допомогою шатунного пальця. Поєднання шатуна з короною пропонується виконати за допомогою хрестовини [3, с. 12–22]. Кінематична схема такого двигуна наведена на рис. 4.

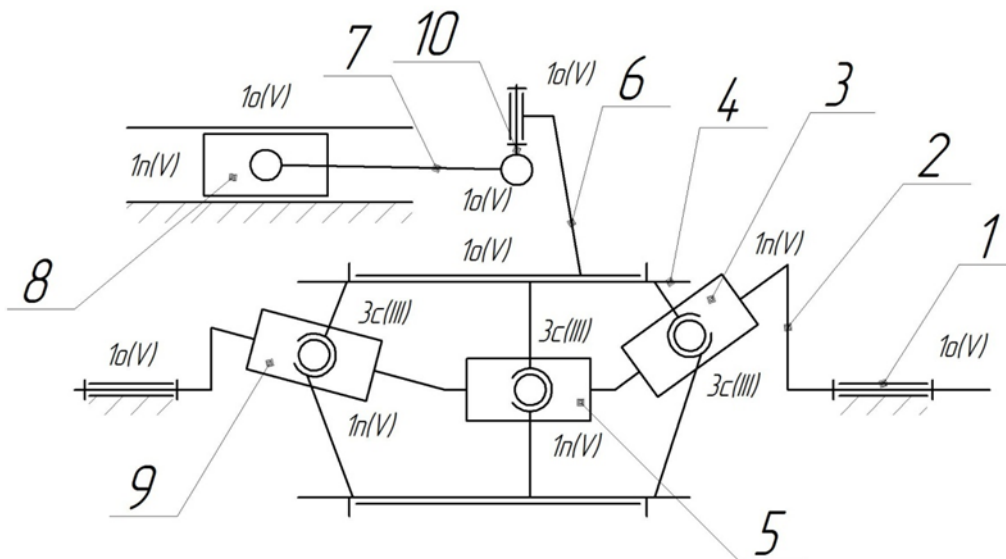


Рис. 4. Кінематична схема двигуна зі ступенем рухомості  $W=1$

З нової запропонованої кінематичної схеми двигуна видно, що він має 10 ланок, які, у свою чергу, утворюють 13 кінематичних пар різного виду та класу. Цей двигун має шість обертальних кінематичних пар п'ятого класу, чотири поступальні кінематичні пари п'ятого класу та три сферичні кінематичні пари третього класу. Відповідно за формулою Чебишева ступінь рухомості такого двигуна буде:

$$W = 6 \cdot 10 - (5 \cdot 9 + 4 \cdot 0 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 0 + 0) = 1.$$

Отже, такий механізм буде мати одну вхідну ланку, якою є поршень двигуна. Більше того, така конструкція двигуна буде більш технологічною, а відповідно, і мати меншу вартість виготовлення [9].

**Висновки і пропозиції.** Розроблено конструкцію двигуна внутрішнього згорання з можливістю безперервної зміни робочого об'єму камери згорання, що дозволило знизити масу двигуна та витрати пального, особливо під час роботи двигуна на низьких потужностях, характерних для міського циклу роботи.

#### Список використаних джерел

1. *Баландин С. С.* Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания / С. С. Баландин. – М. : Машиностроение, 1972. – 176 с.
2. *Безюков О. К.* Анализ перспективности газопоршневых ДВС / О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. И. Яценко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 2. – С. 45–51.
3. *Еникеев Р. Д.* Рабочий процесс перспективного поршневого ДВС / Р. Д. Еникеев, М. Д. Гарипов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2006. – Т. 7, № 3. – С. 12–22.
4. *Некоторые результаты сравнительных исследований показателей бесшатунного и классического двигателей* / Н. И. Мищенко, В. Г. Заренбин, Т. М. Колесникова [и др.] // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 2. – С. 28–33.
5. *Орлин А. С.* Двигатели внутреннего сгорания / А. С. Орлин, М. Г. Круглов. – М. : Машиностроение, 1990. – 284 с.
6. *Экспериментально-теоретические исследования технико-экономических показателей атмосферных поршневых двигателей внутреннего сгорания и анализ отечественного опыта* / Л. А. Захаров, А. Н. Тарасов [и др.] // Труды НГТУ. – 2015. – № 2. – С. 177–189.
7. *Pouliot H. N., Robinson C. W. and Delameter W. R.* (1978). Variable- Displacement Spark-Ignition Engine Final Report. Report, no. SAND77-8299, Sandia Laboratories, Livermore, California.
8. *Reitz, R. D.* (2013). Directions in internal combustion engine research Combustion and Flame. – Vol. 160. – № 1. – P. 1–8.
9. *Stone R.* (2012). Introduction to internal combustion engines, Palgrave Macmillan.

## РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.01.6

**М.Г. Болотов**, канд. техн. наук

**Т.Р. Ганєєв**, канд. техн. наук

**О.О. Новомлинець**, канд. техн. наук

**І.О. Прибитько**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### НОВІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЮМІНІДІВ ТИТАНУ

**М.Г. Болотов**, канд. техн. наук

**Т.Р. Ганєєв**, канд. техн. наук

**О.А. Новомлинець**, канд. техн. наук

**И.А. Прибитько**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМИНИДОВ ТИТАНА

**Maksym Bolotov**, PhD in Technical Sciences

**Timur Hanieiev**, PhD in Technical Sciences

**Oleh Novomlynets**, PhD in Technical Sciences

**Iryna Prybytko**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### NEW DIRECTION OF APPLICATION OF TITANIUM ALUMINIDES

*Проведено порівняльне оцінювання та визначено принципово можливий напрямок підвищення рівня балістичної стійкості титанових бронезилетів як військового, так і цивільного призначення за допомогою використання шарів високотвердого інтерметаліду системи Ti-Al. Показано, що використання шаруватих титанових бронепластин, зміцнених інтерметалідом – алюмінідом титану – дозволить підвищити рівень бронезахисту в разі прострільовання та знизити загальну вагу бронезилета в порівнянні з наявними аналогами металевих бронезилетів.*

**Ключові слова:** інтерметалід, балістична стійкість, бронепластина.

*Проведена сравнительная оценка и выяснено принципиально возможное направление повышения уровня баллистической стойкости титановых бронезилетов как военного, так и гражданского назначения путем использования слоев высокотвердого интерметаллида системы Ti-Al. Показано, что использование слоистых титановых бронепластин, усиленных интерметаллидом – алюминидом титана – позволит повысить уровень бронезащиты при простреливании и снизить общий вес бронезилета по сравнению с существующими аналогами металлических бронезилетов.*

**Ключевые слова:** интерметаллид, баллистическая стойкость, бронепластина.

*The comparative assessment and fundamentally shows the possible direction of improving ballistic vests titanium, both military and civil purposes through the use of layers of very hard intermetallic compound of Ti-Al. It is shown that the use of layered armor plates reinforced titanium intermetallic compounds – titanium aluminide will increase the level of armor protection when prostrelivanie and reduce the overall weight of the vest over existing analogues metal body armor.*

**Key words:** ballistic resistance, intermetallic compounds, armor plates.

**Вступ.** В умовах фактичної військової агресії в Україні особливо гостро постають питання підвищення власної безпеки військовослужбовців. У сучасних умовах ведення бойових дій бронезилет є найбільш ефективним засобом індивідуального захисту, що застосовується в силових структурах. Сучасний ринок пропонує бронезилети широкого спектра для прихованого та зовнішнього, періодичного та постійного носіння, захисту від куль та вражаючої дії вибуху осколкових гранат. Однак досвід експлуатації бронезилетів у зоні проведення АТО показує, що багато з них не забезпечують необхідний рівень захисту його власнику.

Основою більшості сучасних бронезилетів, що виробляються в Україні та у світі, є сталева пластина розмірами 25×30 см, яка піддається термічному обробленню. Такі бронезилети здатні забезпечувати достатній рівень захисту навіть під час влучання бронейно-запалювальної кулі калібру 7,62×25 мм типу БЗ, але внаслідок великої їх маси (залежно від класу захисту вага такого бронезилета коливається від 9 до 12 кг) та



товщини знижується маневреність бійця, підвищується його втомлюваність, виникають больові відчуття у хребті, що можуть стати причиною появи гематом на плечовому поясі внаслідок тривалого їх носіння [1].

Кардинально протилежна ситуація складається з бронежилетами, зробленими з високоміцної балістичної тканини, що отримала назву кевлар. Такі бронежилети наявні в озброєнні військ США та НАТО. Переваги таких жилетів – невелика їх маса (до 4 кг), що забезпечує високу маневреність військовослужбовців у бойових ситуаціях. Вони комфортні – в них не спекотно, але поряд з усіма перевагами існують недоліки, що обмежують їх застосування. Так, кевлар та його аналоги схильні до зовнішнього впливу навколишнього середовища. Сонячна радіація з часом зменшує міцнісні властивості. Також кевлар втрачає міцність під час намокання. Такі бронежилети відносяться до другого класу захисту, що здатні захистити від вражаючої дії кулі пістолета ТТ, випущеної майже впритул, або від холодної колючо-ріжучої зброї [2].

Заміна сталевих бронепластин на керамічні дозволила знизити вагу бронежилета на 1–2 кг та одночасно підвищити його клас захисту. Кераміка під час влучання кулі здатна поглинати її енергію та зменшувати її дію, але при цьому вона виходить з ладу. Такі бронежилети вважають одноразовими [3].

У зв'язку з цим широкого впровадження для засобів індивідуального захисту набули бронепластики, зроблені з високоміцних титанових сплавів, оскільки вони здатні забезпечувати достатній рівень протиккульної стійкості і дозволяють знизити вагу виробу на 15–20 % у порівнянні зі сталевими бронежилетами [4]. Тестування таких бронежилетів у сучасних бойових умовах вимагають певні вимоги, головним чином, пов'язані із забезпеченням захисту їх носія від куль з підвищеною пробивною здатністю типу ПП калібру 7,62, випущених з АК-74, АКМ, або навіть СГД. Це потребує підвищення механічних властивостей титанового сплаву.

**Мета роботи.** Метою цієї роботи є пошук шляхів підвищення рівня балістичної стійкості титанових бронепластин.

**Виклад основного матеріалу.** На сьогодні титан та його сплави знайшли широке застосування у військовій промисловості під час виготовлення бронеелементів машин легкої та середньої вагової категорії, оскільки він володіє досить високою твердістю і стійкістю до корозії. Високе оцінювання протиккульної стійкості титанових сплавів у бойових умовах із залученням різного виду озброєння обумовила застосування їх і для виготовлення засобів індивідуального бронезахисту (ЗІБ) [5].

Нині відома велика гама титанових сплавів з  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$ ,  $\beta$ -структурою, що відрізняються один від одного певними властивостями. Так,  $\alpha$  – титанові сплави мають досить середній рівень міцності, не піддаються термообробці і володіють дуже високою корозійною стійкістю. У зв'язку з цим титанові сплави з  $\alpha$ -структурою мають обмежене застосування під час виготовлення засобів індивідуального бронезахисту.

Однофазні  $\beta$ -сплави також не знайшли широкого промислового застосування під час виготовлення ЗІБ, що пов'язано, насамперед, з досить високою їх вартістю, оскільки для отримання стійкої  $\beta$ -структури сплави повинні бути леговані великою кількістю  $\beta$ -стабілізаторів: V, Mo, Nb, Ta, до того ж вони значно підвищують щільність сплавів. Тому, як показала практика, під час виготовлення ЗІБ як протиккульної броні найбільш доцільно використовувати титанові сплави з  $\alpha+\beta$  структурою після відпалу, при якому рівень механічних властивостей визначається властивостями  $\alpha$  і  $\beta$ -фаз, ступенем гетерогенності і типом структури [6].

Проте вивчення особливостей деформації і руйнування титанових сплавів у разі інтенсивного динамічного навантаження показало, що  $\alpha+\beta$  титанові сплави більш схильні до високої локалізації пластичної деформації, при цьому відбуваються структурні



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

зміни: поява білих смуг адіабатичного зсуву, можливість фазових перетворень, що призводить до підвищення крихкості сплаву. Все це досить негативно впливає на балістичні властивості  $\alpha+\beta$  титану.

Як відомо з літературних джерел, найбільшою балістичною стійкістю з  $\alpha+\beta$  титанів володіє титановий сплав ВТ23 (заліза 0,4–0,8 %, хрому 0,8–1,4 %, молібдену 1,5–2,5 %, ванадію 4–5 %, титану 84–89,3 %, алюмінію 4–6,3 %). Однак підвищення його міцності за допомогою термічного оброблення більш ніж 1000 МПа неминує призводити до його крихкого руйнування, що знижує опір пластини до ударного впливу [7].

Враховуючи дані використання металевих бронезилетів у гарячих точках у всьому світі, можна зробити висновок, що надійний захист його носія буде залежати не тільки від високої міцності і твердості броньованої пластини, а й від наявності більш м'якого демпфуючого шару в його складі. Оскільки, як показує сумна практика використання бронезилетів, виконаних із суто титанових пластин, коли потрапляння кулі в жилет не спричиняє його руйнування, а боєць помирає повільно і болісно від внутрішньої кровотечі. Це спричинено тим, що куля передає імпульс титановій пластині на невеликій площі, відповідно, сила удару по тілу розподілена на невелику площу пластини, що частіше за все закінчувалося фатально [8].

Враховуючи все вищесказане, постає завдання створення гетерогенної титанової броні у поєднанні з іншим високотехнологічним металом, наприклад, алюмінієм, що дозволить запобігти крихкому руйнуванню титанової бронепластини.

Ми пропонуємо спосіб удосконалення балістичних властивостей титанових бронезилетів завдяки використанню високотвердих інтерметалідних сполук – алюмінідів титану. На нашу думку, чергування шарів високотвердого інтерметаліду та м'яких шарів алюмінію дозволить усунути вищеперераховані недоліки за рахунок високого модуля пружності і досить малої щільності цього матеріалу.

У процесі отримання біметалевого композиту з високотвердим інтерметалідним прошарком одним із головних завдань є визначення основних матеріалів. Титановий сплав ОТ4 та алюмінієві сплави 1901, 1903 системи Al-Zn-Mg знайшли широке застосування у виробках броньованої техніки легкої вагової категорії та можуть бути використані для виготовлення такого біметалевого композиту. Крім того, важливою проблемою є визначення оптимального типу інтерметаліду системи Ti-Al, оскільки, як відомо, збільшення кількості алюмінію в системі Ti-Al підвищує розчинність евтектоїдоутворюючих сполук, що, у свою чергу, приводить до зростання міцнісних показників сплаву [9]. У зв'язку з цим найбільш оптимально, на наш погляд, цим умовам відповідатимуть такі інтерметаліди:  $TiAl_3$ ,  $TiAl$ ,  $Ti_3Al_{11}$ , температура появи яких, виходячи з діаграми стану системи Ti-Al, коливається в межах 1340–1460 °C. Залежно від чистоти і мікроструктури механічні властивості інтерметаліду TiAl коливаються в досить широких межах і при кімнатній температурі становлять:  $\sigma_b = 350\text{--}580$  МПа,  $\delta = 0,5\text{--}1,5$  %. Модуль пружності алюмініду TiAl при 20 °C дорівнює:  $E = 175$  ГПа [10].

У зв'язку з цим важливим завданням постає необхідність оптимізації структури лицевого і тильного шарів, тобто забезпечити таке розташування в'язких шарів і шарів міцного інтерметаліду в системі, що забезпечить не тільки достатню міцність проти руйнування, а й зменшення позамежної дії кулі у разі потрапляння її у бронепластину. Варіанти отримання шарів інтерметаліду наведено на рис. 1.

У першому випадку (рис. 1, а) пропонується отримання лицевого інтерметалідного шару на поверхні титанового сплаву. Тут як вихідний алюмінієвий шар можуть використати, наприклад, високоміцні алюмінієві сплави системи Al-Zn-Mg з подальшим більш в'язким демпфуючим шаром, зробленого з титанового сплаву.

На рис. 1, б пропонується варіант пошарового виконання бронепластины, коли шари титану чергуються з інтерметалідними прошарками, які поєднані між собою, наприклад, засобами дифузійного зварювання.

Третій варіант виконання бронепластины (рис. 1, в) пропонує як в'язкий лицевий шар алюмінієвий сплав, що частково прореагував з титаном, утворивши інтерметалідний прошарок у зоні їх контакту.

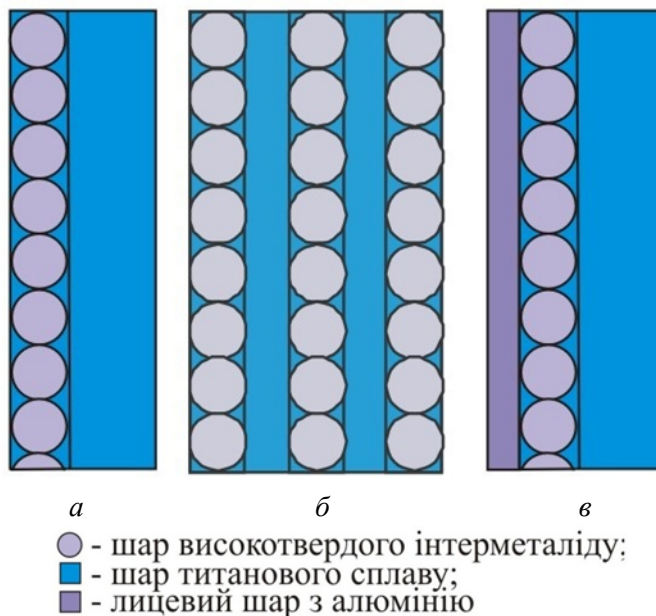


Рис. 1. Варіанти виконання шарів титанових бронепластин: а – з лицевим інтерметалідним прошарком; б – пошарове чергування шарів титану та інтерметаліду; в – з лицевим шаром з алюмінієвого сплаву

Дослідження щодо отримання шарів інтерметаліду TiAl проводили із застосуванням дифузійного зварювання титану ВТ1-0 з алюмінієм марки АД1.

Отримання дифузійно-зварювального з'єднання здійснювалося при температурі ізотермічної витримки в межах  $T=550\text{--}630\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зварювальному тиску  $P=225\text{ МПа}$  протягом часу  $t=60\text{ хв}$  [11]. З метою подальшого росту інтерметалідного прошарку зварні зразки піддавали термічному обробленню в муфельній печі при температурі  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 5 годин.

Польові випробування отриманого біметалевого шаруватого зразка проводили за допомогою його порівняння з аналогічними випробуваннями гомогенної титанової пластини товщиною 10 мм під час прострілювання їх з пістолета Макарова кулею калібру  $9\times 18\text{ мм}$ , випущеної з дистанції 5 метрів, що відповідає ГОСТ Р 50744-95. Випробування показали, що зразок, який містить у своєму складі прошарки високотвердого інтерметаліду – алюмініду титану, витримав потрапляння кулі, випущеної з пістолета Макарова, на відміну від гомогенної титанової пластини.

### Висновки

1. На сьогодні актуальною проблемою є підвищення рівня безпеки військовослужбовців за рахунок удосконалення засобів індивідуального бронезахисту.

2. Одним із перспективних напрямків розвитку засобів індивідуального бронезахисту є вдосконалення бронепластин на основі титану за рахунок використання високотвердих інтерметалідних сполук – алюмініду титану.

3. Випробування бронепластин на основі високотвердого інтерметаліду – алюмініду титану показали ефективність їх використання для виготовлення засобів індивідуального бронезахисту.

4. Актуальними є подальші дослідження, спрямовані на розроблення шаруватих бронепластин на основі титану та алюмінію, в яких будуть чергуватися високотверді шари інтерметаліду алюмініду титану з м'якими шарами з алюмінію.

#### Список використаних джерел

1. *Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования* / В. А. Григорян, И. Ф. Кобылкин, В. М. Маринин, Е. Н. Чистяков. – М. : РадиоСофт, 2008. – 406 с.
2. *Швайков Д. К.* Сравнительные баллистические характеристики защитных пакетов из некоторых видов высокопрочных химических волокон / Д. К. Швайков, В. В. Чивилев, В. В. Прошкин // Вопросы оборонной техники. – 1996. – Сер. 15, вып. 3 (115)–4 (116). – С. 10–12.
3. *Кобылкин И. Ф.* Материалы и структуры легкой бронезащиты : учебник / И. Ф. Кобылкин, В. В. Селиванов ; под ред. И. Ф. Кобылкина. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 191 с.
4. *Петрова Э. Н.* Особенности взаимодействия средств поражения с броней СИБ / Э. Н. Петрова, Б. Д. Чухин // ВОТ. – 2003. – Сер. 16, вып. 3–4.
5. *Концептуальные основы создания СИБ* / В. И. Байдак [и др.]. – М., 2003. – 395 с.
6. *Каннель Г. И.* Прочность титана ВТ6 в условиях ударно-волнового нагружения / Г. И. Каннель, Э. Н. Петрова // Материалы II Всесоюзного совещания по детонации. – 1981.
7. *Исследование возможности путей создания перспективных материалов для СИБ бойца* / В. А. Григорян, Э. Н. Петрова, В. А. Хромушин, В. П. Яньков // ВОТ. – 2003. – Сер. 16, вып. 3–4.
8. *Мондольфо Л. Ф.* Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л. Ф. Мондольфо. – М. : Металлургия, 1979. – 639 с.
9. *Проникание и пробивание твердых тел.* USA Ballistic Research Laboratory : пер. с англ. / Дж. А. Зукас, Т. Николас, Х. Ф. Свифт и др. ; под ред. С. С. Григоряна // Динамика удара. – М. : Мир, 1985.
10. *Аномалии деформационных характеристик интерметаллида TiAl* / Б. А. Гринберг, О. В. Антонова, В. Н. Индендаум и др. // Физика металлов и металловедение. – 1992. – № 4. – С. 24–32.
11. *Рабкин Д. М.* Сварка разнородных металлов / Д. М. Рабкин, В. Р. Рябов, С. М. Гуревич. – К. : Техника, 1976. – 208 с.

УДК 691.791.4

**Т.Р. Гансєв**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ОСОБЛИВОСТІ ДИФУЗІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МІДІ ТА МОЛІБДЕНУ ПІД ЧАС ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ

**Т.Р. Гансєв**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ОСОБЕННОСТИ ДИФфуЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕДИ И МОЛИБДЕНА ПРИ СВАРКЕ ДАВЛЕНИЕМ

**Timur Hanieiev**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### FEATURES OF DIFFUSION INTERACTION OF COPPER AND MOLYBDENUM DURING THE PRESSURE WELDING

*Досліджено процес дифузійного зварювання у вакуумі міді з молибденом через модифіковані іонним обробленням прошарки. За допомогою методу радіоактивних ізотопів визначені особливості дифузійної взаємодії міді з молибденом. Показано, що змінюючи основні параметри режиму іонного оброблення поверхневого шару зварного матеріалу, можна суттєво впливати на розміри зони взаємодії та механічні властивості зварного з'єднання. Встановлено доцільність під час дифузійного зварювання у вакуумі міді з молибденом попередньої модифікації поверхні молибдену міддю.*

**Ключові слова:** дифузійні процеси, дифузійне зварювання у вакуумі, мідь, молибден.

*Исследован процесс диффузионной сварки в вакууме меди с молибденом через модифицированные ионной обработкой слои. С помощью метода радиоактивных изотопов определены особенности диффузионного взаимодействия*

вия меди с молибденом. Показано, что изменяя основные параметры режима ионной обработки поверхностного слоя свариваемого материала, можно существенно влиять на размеры зоны взаимодействия и механические свойства сварного соединения. Установлена целесообразность при диффузионной сварке в вакууме меди с молибденом предварительной модификации поверхности молибдена медью.

**Ключевые слова:** диффузные процессы, диффузионная сварка в вакууме, медь, молибден.

The process of diffusion welding in vacuum of copper and molybdenum processing through modified ion layers. With the help of radioactive isotopes by diffusion interaction features of copper and molybdenum. It is shown that changing the basic settings for the treatment of ionic surface layer of weld material can significantly affect the size of the zone of interaction and mechanical properties of the weld. Established in feasibility vacuum diffusion welding of copper and molybdenum previous surface modification molybdenum copper.

**Key words:** diffusion processes, diffusion welding in vacuum, copper, molybdenum.

**Вступ.** Тонкі прошарки (ультрадисперсні порошки, що наносяться різними способами, товщиною до 1 мкм) металів (мідь, нікель, кобальт і т. ін., а також їх суміші) з ультрадисперсною структурою застосовують як проміжні прошарки під час дифузійного зварювання різнорідних матеріалів [1–3]. Крім того, до переваг подібних прошарків відноситься й обставина, що їх наявність у стику приводить до суттєвої інтенсифікації процесу утворення з'єднань і забезпечує механічну та термічну активацію поверхонь у разі зварювання. Їх вплив також приводить до високої дифузійної активності в зоні контакту [4–6], що є наслідком гранично малих розмірів частинок та високорозвинутої вільної поверхні. Це пов'язано з тим, що коефіцієнт дифузії є структурно-чутливою величиною і його ефективне значення може суттєво перевищувати рівноважне за наявності макроскопічних дефектів і розвинутої системою границь розділу.

**Постановка проблеми.** Цей технологічний спосіб є практично єдиним варіантом у випадку, коли необхідно якісно з'єднати метали, які у твердому стані важко зварюються.

Саме це відноситься до пари молибден-мідь, поєднання яких використовується під час виготовлення різноманітних виробів у електротехнічній промисловості. Особливістю цієї дифузійної пари є відсутність розчинності Мо в Cu [7; 8]. Ця обставина перешкоджає отриманню якісного з'єднання цих металів методом дифузійного зварювання.

**Мета роботи.** У цій роботі наведені результати досліджень процесів перерозподілу атомів та швидкостей дифузії під час дифузійного зварювання молибдену з міддю через модифіковані іонним обробленням прошарки.

**Виклад основного матеріалу.** На поверхню молибдену іонно-плазмовим методом наносили шар міді товщиною до 1 мкм. Потім усі зразки Мо з шаром міді, за винятком базового, підлягали обробленню іонами аргону для створення зони атомної взаємодії Мо з Cu з метою підвищення адгезії. Далі зразки підлягали дифузійному зварюванню. Режими підготовки і дифузійного зварювання зразків представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Режими підготовки і дифузійного зварювання зразків

№ зразка	№ режиму	$T_{зв}, ^\circ\text{C}$	$T_{зв}, \text{хв}$	$\tau_{обр.}^{\text{Ar}}, \text{хв}$	$U_{приск.}, \text{В}$	$P, \text{кгс/мм}^2$	Товщина шару Cu, мкм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	I	950	20	0	0	1,5	1
2	II	950	20	10	1200	1,5	1
3	III	950	20	20	1200	1,5	1
4	IV	950	20	20	2000	1,5	1

Номер 1(I) у цьому випадку є базовим. Інші режими відрізняються від базового й один від одного тривалістю оброблення аргоном ( $\tau_{обр.}^{\text{Ar}}$ ) та прискорюючою напругою ( $U_{приск.}$ ) такого оброблення.

Дифузійні процеси в зоні контакту під час зварювання зразків вивчали методом радіоактивних ізотопів. У роботі використовували радіоактивний ізотоп нікелю  $^{63}\text{Ni}$ , який наносили електролітичним методом на Мо. Товщина шару  $^{63}\text{Ni}$  становила  $\sim 0,3$  мкм, активність  $5 \cdot 10^3$  імп/хв. Після зварювання зразки розрізались і розміщувались на рентге-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

нівській плівці. Витримка на плівці становила близько 100 годин. Після проявлення плівку фотометрували та отримували концентраційний розподіл радіоактивного ізотопу нікелю як у Мо, так і в Cu. Оцінювання значень коефіцієнтів дифузії проводили за методикою, що описана в роботі [9].

На рис. 1 представлені концентраційні розподіли радіоактивного ізотопу нікелю в Мо та Cu після дифузійного зварювання відповідно чотирьом режимам.

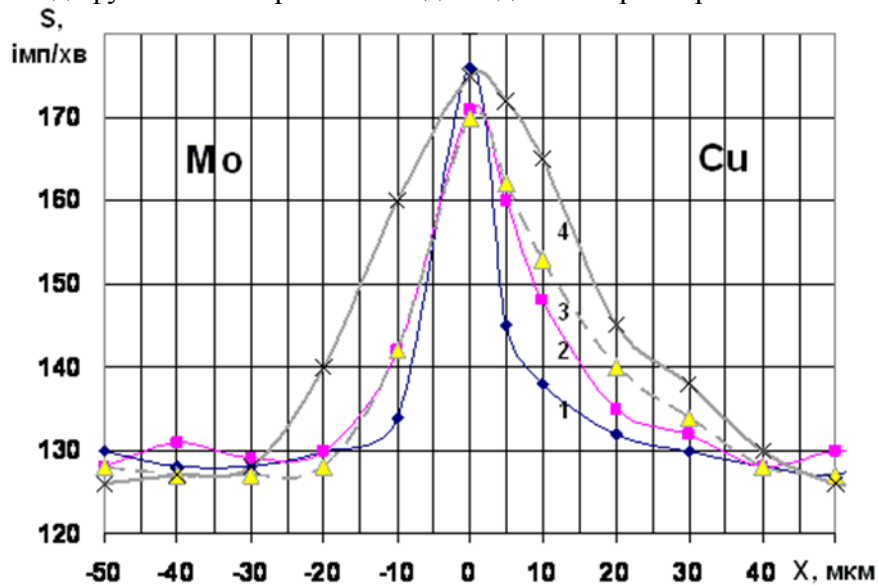


Рис. 1. Концентраційний розподіл  $^{63}\text{Ni}$  в Мо та Cu після зварювання на базовому режимі I та на режимах II, III, IV (табл. 1)

Як показує аналіз представлених кривих у процесі зварювання,  $^{63}\text{Ni}$  проникає на значні глибини (десятки та сотні мкм) як у Мо, так і в Cu.

Слід також зазначити чітко виражену асиметричність кривих, яка полягає в тому, що у всіх випадках глибина проникнення  $^{63}\text{Ni}$  в Cu помітно більша в порівнянні з Мо. Цей результат може бути пов'язаний з тією обставиною, що відповідно до діаграми стану Cu-Ni [10; 11] ці метали на всьому діапазоні концентрацій мають необмежену розчинність (рис. 2).

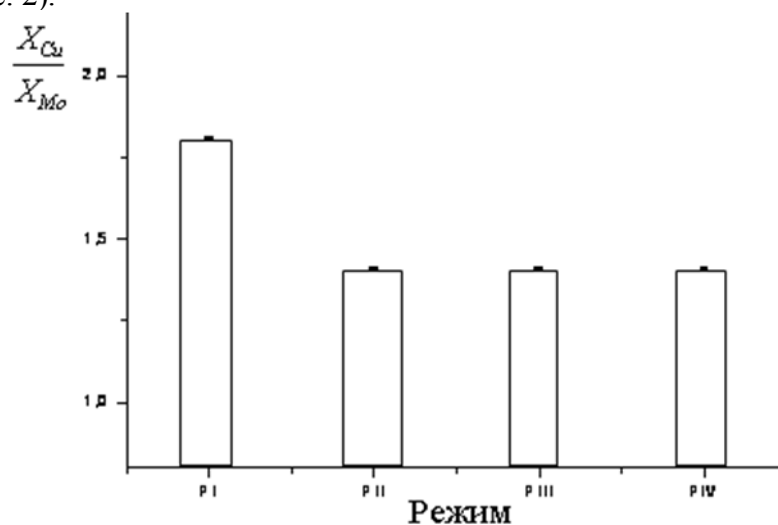


Рис. 2. Зміна відношення глибини проникнення  $^{63}\text{Ni}$  (X) у Cu та Мо залежно від режиму оброблення

Водночас розчинність Ni в Мо та Мо в Ni відповідно до діаграми стану [12–14] суттєво обмежена. Крім того, слід врахувати і велику різницю в температурах плавлення Мо та Cu, 2610 і 1083 °C відповідно [15]. Отже, температура, за якої відбувається дифу-

зійне зварювання (950 °С) була для Cu значно вище в порівнянні з Mo. Таким чином, зведена температура ( $T_{звар}/T_{пл}$ ) для Cu у цьому випадку становить 0,88, а для Mo – 0,37.

Експериментальні дані, отримані в результаті оброблення концентраційних кривих, представлені в табл. 2 та рис. 2–5.

Таблиця 2

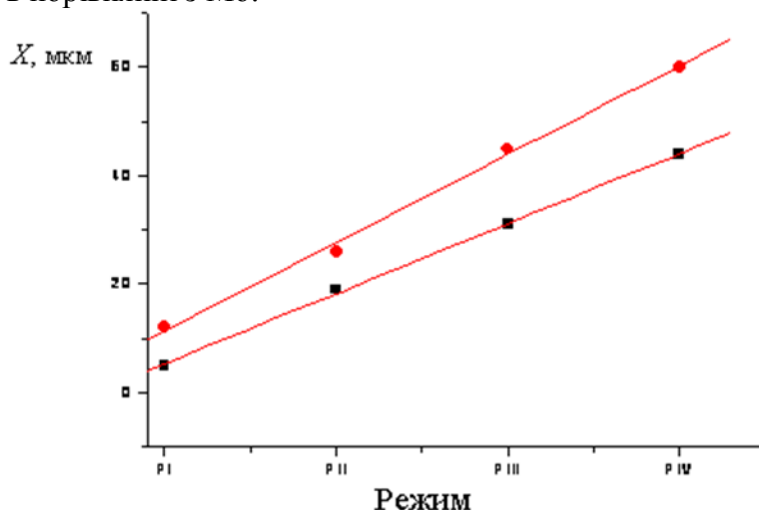
## Результати оброблення концентраційних кривих

№ зразка	X, мкм		$\tau_{обр}^{Ar}$ , хв		T <sub>звар</sub> , хв		U <sub>приск.</sub> , В		$X_{Cu}/X_{Mo}$
	Cu	Mo	Cu	Mo	Cu	Mo	Cu	Mo	
1	11	6	–	0	20	20	0	0	1,8
2	26	19	–	10	20	20	1200	1200	1,4
3	45	33	–	20	20	20	1200	1200	1,4
4	60	44	–	20	20	20	2000	2000	1,4

Як видно з табл. 2, глибина розподілу  $^{63}Ni$  в Cu у всіх випадках більша у порівнянні з Mo. Водночас відношення цих глибин різне (рис. 2).

Такий характер представленої залежності пов'язаний з тим, що максимальне відношення  $X_{Cu}/X_{Mo}$  відноситься до режиму I (базовому). Особливістю цього режиму є відсутність оброблення Mo з нанесеним на нього шару Cu іонами Ag. Очевидно, що оброблення вказаної поверхні Ag приводить до перемішування атомів шарів, які знаходяться на Mo. До них відноситься мідь,  $^{63}Ni$  та Mo. В результаті після цього оброблення частина атомів  $^{63}Ni$  проникає в Mo, утворюючи псевдодифузійний шар. У процесі наступного дифузійного зварювання атоми  $^{63}Ni$  дифундують у Mo з певної визначеної глибини і загальний дифузійний шар стає більшим. У випадку реалізації режиму I ці процеси не відбуваються.

На рис. 3 представлена залежність глибини проникнення  $^{63}Ni$  в Cu і Mo залежно від режиму оброблення. Видно, що при всіх режимах оброблення глибина проникнення  $^{63}Ni$  в Cu вища в порівнянні з Mo.

Рис. 3. Зміна глибини проникнення  $^{63}Ni$  в Cu (●) і Mo (■) залежно від режиму оброблення

На рис. 4 представлена залежність глибини проникнення  $^{63}Ni$  в Mo від тривалості оброблення іонами аргону.

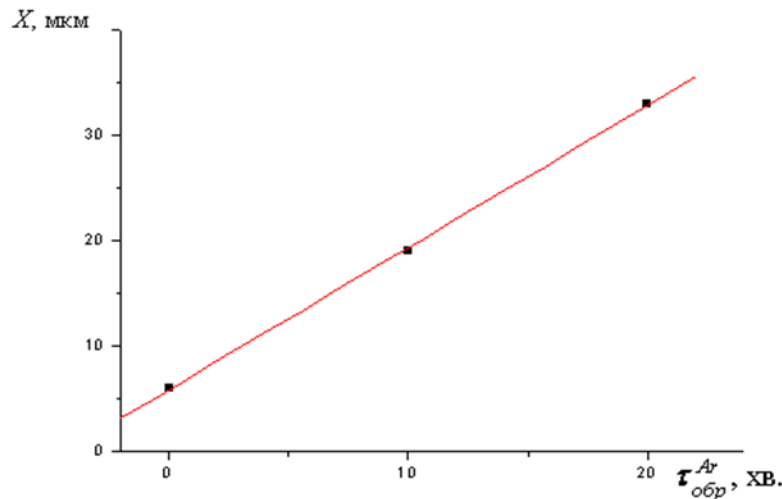


Рис. 4. Залежність глибини проникнення  $^{63}\text{Ni}$  в Мо від часу оброблення іонами Ar

Як видно з рис. 4, вказана залежність має лінійний характер. Збільшення тривалості оброблення Мо з нанесеним на нього шаром міді іонами аргону приводить до суттєвого зростання глибини проникнення в нього  $^{63}\text{Ni}$ , а саме від 6 до 33 мкм. Виходячи з цього факту, можемо зробити висновок, що змінюючи час оброблення Мо іонами аргону, можна суттєво впливати на розміри зони взаємодії міді з молібденом і тим самим керувати величиною адгезії Cu на Мо. Аналогічний висновок можна зробити з даних, представлених на рис. 5.

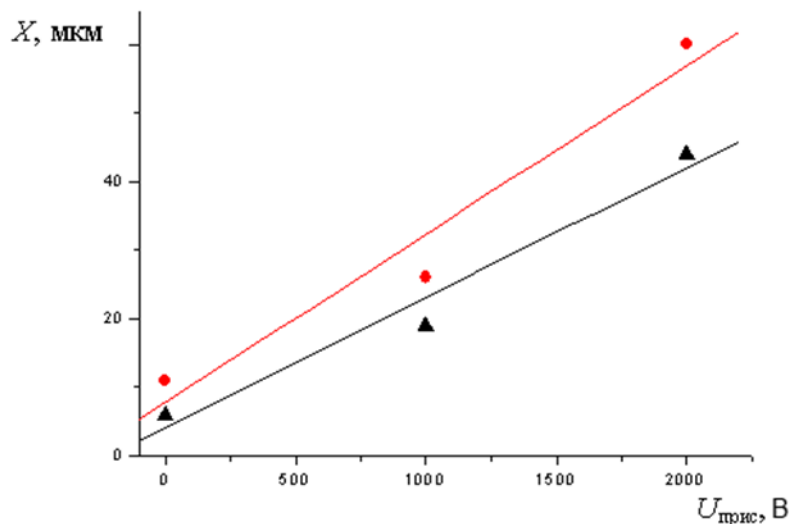


Рис. 5. Залежність глибини проникнення  $^{63}\text{Ni}$  в Cu (●) і Мо (▲) від величини прискорюючої напруги під час оброблення іонами аргону

Як видно з представленого рисунка, глибина проникнення  $^{63}\text{Ni}$  в мідь і молібден суттєво залежить від величини прискорюючої напруги під час оброблення молібдену іонами аргону. Ця залежність має лінійний характер. При цьому слід відзначити, що розміри зони проникнення  $^{63}\text{Ni}$  в мідь значно більше в порівнянні з молібденом.

Важливим параметром, що визначає механічні характеристики зварних з'єднань, є коефіцієнт дифузії. Цей параметр характеризує особливості та закономірності взаємодії матеріалів у багатьох технологічних процесах. А саме він дуже важливий під час хіміко-термічного оброблення, зварювання та ін. У зв'язку з цим у цій роботі проведено дослідження дифузійних характеристик процесу зварювання міді з молібденом з використанням радіоактивного ізоотопу  $^{63}\text{Ni}$ . В табл. 3 представлено результати цього дослідження.

Характеристики дифузійних процесів під час зварювання міді з молібденом

№ зразка	$D_{eff}$ см <sup>2</sup> /с		$D_{eff}^{Cu} / D_{eff}^{Mo}$	$lg(D_{eff})$	
	Cu	Mo		Cu	Mo
1	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$	3,4	-9,3	-9,8
2	$3,22 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	3,22	-8,6	-9,0
3	$8,44 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-9}$	3,7	-8,1	-8,7
4	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-9}$	3,5	-7,8	-8,4

З аналізу даних, представлених у табл. 3, видно, що рухливість <sup>63</sup>Ni в міді майже в 3,5 рази вище в порівнянні з молібденом. Як зазначалось вище, це може бути пов'язано з тим, що температура плавлення молібдену та міді відрізняються майже в три рази і розчинність нікелю в міді значно вища.

На рис. 6 представлена залежність логарифмів коефіцієнтів дифузії від режимів оброблення та зварювання. З цього видно, що рухливість нікелю в міді у всіх випадках вища, ніж у молібдені. При цьому чітко видно, що приріст значення коефіцієнтів дифузії зменшується у процесі зміни режиму оброблення.

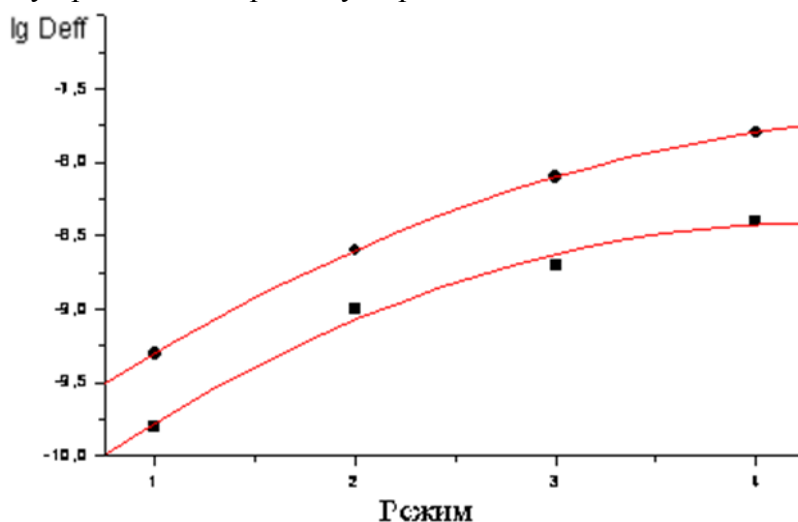


Рис. 6. Залежність логарифма коефіцієнтів дифузії від режиму оброблення • – Cu, ■ – Mo

Механічні випробування отриманих з'єднань показали, що залежно від режиму зварювання міцність зварного з'єднання також змінюється (рис. 7).

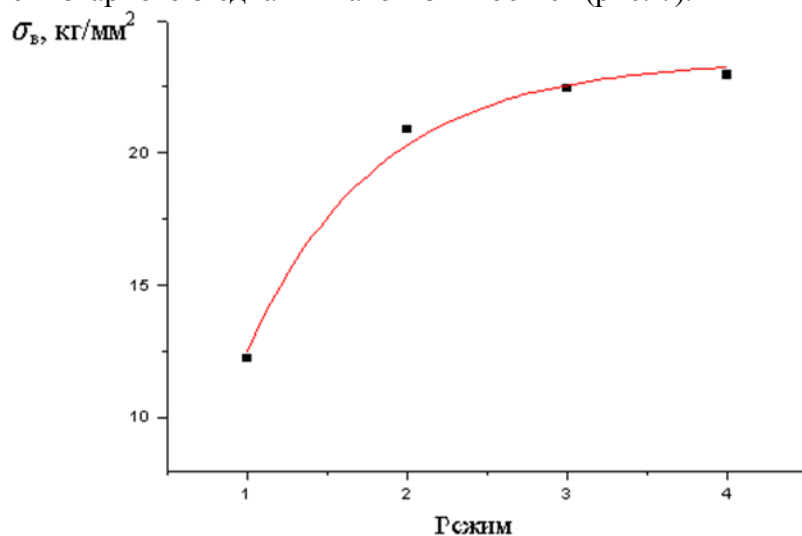


Рис. 7. Залежність міцності зварного з'єднання міді з молібденом від режиму зварювання



Як видно з представленого рисунка, механічні характеристики з'єднань на розрив під час зварювання на режимі 4 досягають міцності основного металу – міді. Такий результат свідчить про можливість використання розглянутого методу активації поверхні під час зварювання різнорідних металів, які суттєво відрізняються за своїми фізико-хімічними та механічними властивостями.

### Висновки

1. Встановлено, що збільшення тривалості оброблення та прискорюючої напруги під час оброблення Мо з нанесеним на нього шаром міді іонами аргону дозволяє суттєво розширити розміри зони взаємодії міді з молібденом. Показано, що іонне оброблення мідного покриття на молібдені може у 4–5 разів розширити зону дифузійної взаємодії під час дифузійного зварювання міді з молібденом у порівнянні зі зварюванням напряму.

2. Виявлено, що іонне оброблення мідного покриття на молібдені дозволяє у 2 рази підвищити міцність зварного з'єднання міді з молібденом у порівнянні зі зварюванням без оброблення.

### Список використаних джерел

1. *Диффузионная* сварка магнитных материалов через пористые прослойки из прокатанных лент / Э. С. Каракозов, В. Г. Панаєтов, В. Э. Тарлавский, А. В. Люшинский // Сварочное производство. – 1984. – № 10. – С. 18–20.
2. *О природе* диффузионных процессов, ответственных за образование соединений при сварке в твердой фазе / Л. Н. Лариков, А. М. Макара, А. Т. Назарчук, В. М. Фальченко // ФиХОМ. – 1971. – № 4. – С. 113–116.
3. *Харченко Г. К.* Плакирование стали титаном через прослойку ванадия / Г. К. Харченко, В. Г. Ткаченко // Цветные металлы. – 1996. – № 8. – С. 90–92.
4. *Свойства* и применение дисперсных порошков / В. И. Новиков и др. – К. : Наукова думка, 1986. – С. 108–114.
5. *Парицкая Л. Н.* Диффузионные процессы в дисперсных системах / Л. Н. Парицкая // Порошковая металлургия. – 1990. – № 11. – С. 44–58.
6. *Массоперенос* при сварке давлением с применением ультрадисперсного порошка никеля / А. В. Люшинский, В. Ф. Мазанко, М. М. Белякова, С. П. Ворона // Сварочное производство. – 1999. – № 6. – С. 10–14.
7. *Хансен М.* Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андрейко. – М. : Металлургиздат, 1962. – Т. 2. – С. 643.
8. *Баскин М. Л.,* Савин А. В., Туманов В. И., Эйдук Ю. А. // Металлургия и топливо. – 1961. – № 4. – С. 111–114.
9. *Грузин П. Л.* Применение искусственно радиоактивных индикаторов для процессов изучения диффузии в сплавах / П. Л. Грузин // ДАН СССР. – 1952. – Т. 86, № 2. – С. 282–288.
10. *Felst E. A.,* Doherty R.D., J. Inst. Metals. – 1971. – Vol. 99, № 3. – P. 102–103.
11. *Палатник Л. С.,* Левченко А. А., Богданова А. Ф., Терлецкий В. Е. // ФММ. – 1958. – Т. 6, № 3. – С. 540–544.
12. *Baar N. Z.* anorg. allg. Chem. – 1911. – Vol. 70. – P. 353–358.
13. *Dreibhoblz D. Z.* physic. Chem. – 1924. – Vol. 108. – P. 8–11.
14. *Köster W.,* Schmidt W. Arch. Eisenhüttenw. – 1934. – Vol. 8. – P. 23–27.
15. *Самсонов Г. В.* Физико-химические свойства элементов : справочник / Г. В. Самсонов. – К. : Наукова думка, 1965. – С. 807.

УДК 621.791.927.5

**Е.В. Лаврова**, канд. техн. наук

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПЛАВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ПЕРЕНОСОМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА****О.В. Лаврова**, канд. техн. наук

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПЛАВЛЕННЯ СТРІЧКОВОГО ЕЛЕКТРОДА З ПРИМУСОВИМ ПЕРЕНОСЕННЯМ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ****Yelena Lavrova**, PhD in Technical Sciences

State Higher Educational Institution "Priazovskiy State Technical University", Mariupol, Ukraine

**STUDY OF MELTING PROCESS OF STRIP ELECTRODE WITH FORCED ELECTRODE METAL TRANSFER**

*Приведены результаты исследований производительности расплавления электродного металла при наплавке лентой с управляемым механическим переносом. Определены оптимальные интервалы технологических параметров для процесса наплавки с управляемым переносом электродного металла. Показано, что использование управляемого переноса приводит к заметному увеличению коэффициента расплавления ленточного электрода.*

**Ключевые слова:** ленточный электрод, управляемый перенос электродного металла, макроструктура, расплавление ленточного электрода, электродуговая наплавка.

*Наведено результати досліджень продуктивності розплавлення электродного металу при наплавленні стрічкою з керованим механічним перенесенням. Визначено оптимальні інтервали технологічних параметрів для процесу наплавлення з керованим перенесенням электродного металу. Показано, що використання керованого перенесення приводить до помітного збільшення коефіцієнта розплавлення стрічкового електрода.*

**Ключові слова:** стрічковий электрод, кероване перенесення электродного металу, макроструктура, розплавлення стрічкового електрода, электродугове наплавлення.

*The results of research performed the melting electrode metal during surfacing welding with controlled mechanical transfer. The optimal ranges of technological parameters for the welding process with the controlled transfer of electrode metal were defined. It is shown that the use of controlled transfer leads to a marked increase in the melting rate of the electrode rod.*

**Key words:** strip electrodes, with the transfer of electrode metal, macrostructure, melting tape electrode arc welding.

**Постановка проблемы.** Эффективным направлением совершенствования механизированной дуговой наплавки является обеспечение скорости подачи электрода по законам, обеспечивающим принудительный отрыв и перенос капель расплавленного металла в сварочную ванну. В случае использования ленточного электрода пока недостаточно исследовано влияние параметров импульсов на процесс расплавления электродного металла и переноса его в сварочную ванну. При внедрении разработанных технологий в производство необходимо определить оптимальные значения частоты и амплитуды колебаний с целью повышения производительности процесса.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Исследованиям конструктивных особенностей оборудования и процессов управляемого переноса при наплавке проволочным электродом посвящен ряд работ [1–3], в которых определены функциональные зависимости, связывающие параметры режима сварки (наплавки) с характеристиками процесса плавления и переноса электродного металла. Имеются публикации об использовании управляемого механического переноса при наплавке ленточным электродом. Исследованы варианты кинематических схем, расчетные зависимости и влияние параметров устройства на процесс колебания торца ленточного электрода [4–5].

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Внедрение оборудования, разработанного для наплавки ленточным электродом с управляемым механическим переносом [6], в производственных масштабах предполагает подробное изучение сил, действующих на каплю электродного металла, и их влияние на процесс плавления и переноса в ванну.

Сущность процесса дуговой наплавки с принудительным переносом электродного металла заключается в управлении характеристиками процесса за счет использования

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

дополнительной силы, которая, будучи приложена к капле, резко изменяет характер плавления и переноса электродного металла. Такой силой в данном случае служит инерционная сила, возникающая при ускоренном движении системы электрод-капля. Кроме традиционных параметров режима наплавки (ширина, толщина ленточного электрода, ток, напряжение на дуге, скорость подачи ленточного электрода, скорость наплавки, расход флюса), процесс наплавки с принудительным переносом электродного металла характеризуется дополнительными параметрами, главные из которых – шаг подачи и частота следования импульсов подачи.

**Цель статьи.** Главная цель этой работы состоит в экспериментальном определении оптимальных параметров режима наплавки под флюсом ленточным электродом с принудительным переносом электродного металла.

**Изложение основного материала.** С помощью разработанного и сконструированного устройства были проведены исследования способа наплавки под флюсом ленточным электродом сплошного сечения с принудительным механическим переносом электродного металла.

Для наплавки использовался автомат самоходный тип А–874Н. В качестве источника сварочного тока использовали выпрямитель ВДУ–1201. Наплавку валиков на пластины из стали Ст3 толщиной 20 мм выполняли ленточными электродами Св08А и Х18Н10Т. Стабильность процесса наплавки и характеристики переноса электродного металла с торца ленточного электрода изучали по осциллограммам тока и напряжения.

Запись осциллограмм производилась с помощью исследовательского комплекса, состоящего из ПК, портативного АЦП – платы сбора данных ЛА-50USB и соединительных кабелей. Для надежной работы ЛА-50USB в условиях наличия помех от протекания тока по сварочному контуру была собрана защитная плата, содержащая набор дифференциальных усилителей и фильтров защиты по каждому каналу. С ленточного электрода показания напряжения снимались с помощью датчиков, расположенных на текстолитовой пластине, затем через защитную плату сигнал поступал на АЦП ЛА–50USB и обрабатывался с помощью специального прикладного программного обеспечения.

При исследовании процесса наплавки использовались следующие параметры режима: сила сварочного тока – 320–850 А; напряжение на дуге – 28–42 В; шаг наплавки – 10–14 мм; ленточные электроды марок – Св08А и Х18Н10Т, шириной от 22 до 65 мм и толщиной от 0,5 до 1,2 мм.

В результате получены макроструктуры образцов, наплавленных лентами различной ширины ( $B$ ), толщины ( $\delta$ ) и материалов.

На рис. 1–3 приведены характеры макроструктур наплавки ленточными электродами сплошного сечения Св08А и ст. 3 различной ширины и толщины.

По характеру линии сплавления с основным металлом можно судить о равномерном распределении тепловой энергии по ширине наплавленного валика, равномерном сплавлении с основным металлом, снижении вероятности появления дефектов в наплавленном шве.

Характеры макроструктур наплавки под флюсом ленточным электродом сплошного сечения без принудительного переноса показаны на рис. 1–3:



Рис. 1. Характер макроструктуры наплавки ленточным электродом с принудительным переносом электродного металла Св-08-А: а –  $B=40$  мм,  $\delta=1,5$  мм; б –  $B=50$  мм,  $\delta=1,5$  мм



Рис. 2. Характер макроструктуры наплавки ленточным электродом: а – с принудительным переносом электродного металла ст. 3,  $V=50$  мм,  $\delta=1,5$  мм; б – без принудительного переноса электродного металла Св-08-А,  $V=60$  мм,  $\delta=1,5$  мм



Рис. 3. Характер макроструктуры наплавки ленточным электродом без принудительного переноса электродного металла: а – Св-08-А,  $V=60$  мм,  $\delta=1,5$  мм; б – ст. 3,  $V=40$  мм,  $\delta=0,5$  мм

Оценка качества формирования зоны проплавления производилась по макрошлифам наплавленных валиков путем измерения значений глубины проплавления основного металла в 5–7 точках и определения диапазона разброса измеренных величин. Также определялся разброс геометрических параметров зоны наплавки и средние значения глубины проплавления и высоты усиления наплавленного валика.

Установлено, что при использовании принудительного переноса металла с торца ленточного электрода средние значения глубины проплавления и высоты усиления валика находятся на том же уровне, что и без использования колебаний торца, притом, что средние значения тока при наплавке с колебаниями на 30–50 А ниже, чем при их отсутствии. В то же время относительные показатели имели тенденцию к снижению на 10–15 % при использовании принудительных колебаний.

Таким образом, при использовании принудительных колебаний торца ленточного электрода за счет управления тепломассопереносом в сварочную ванну осуществляется стабилизация процесса расплавления ленты и основного металла, что обеспечивает повышение стабильности глубины проплавления по ширине наплавленного валика, возможность энергосбережения за счет наплавки на пониженных режимах и снижения затрат на механическую обработку наплавленной поверхности.

При автоматической наплавке под флюсом, когда применяются большие плотности тока, процесс плавления электрода и флюса зависит от электрических параметров дуги, размеров электрода, физических свойств электродного металла и флюса. Плавление электродного металла и флюса при автоматической наплавке в настоящее время исследовано достаточно полно. В работе [1] установлены основные закономерности процесса плавления ленточного электрода и флюса в зависимости от режима и условий наплавки.

Были проведены исследования по определению влияния параметров процесса наплавки с колебаниями торца на производительность расплавления электрода. Коэффициент расплавления ленточного электрода определяли по стандартной методике путем взвешивания электрода до и после опытных наплавки с замером времени горения дуги.

На рис. 4 представлены экспериментальные данные, характеризующие влияние тока, напряжения, скорости наплавки на величину коэффициента расплавления при автоматической наплавке с принудительным переносом электродного металла сечением 0,5x40 мм под флюсом АН-60. Как видно, при напряжении дуги 32 В и скорости наплавки 10 м/ч коэффициент расплавления ленточного электрода возрастает с 22,0 до 28,0 г/А·ч; при этом он на 15–20 % выше, чем при наплавке без применения принудительных колебаний торца ленточного электрода при тех же условиях наплавки.

Это объясняется тем, что в процессе плавления ленточного электрода за счет наложения принудительных механических колебаний происходит равномерное оплавление торца ленточного электрода за счет обеспечения равномерного распределения тепловой энергии по ширине ленточного электрода и контролируемый сброс капель жидкого металла.

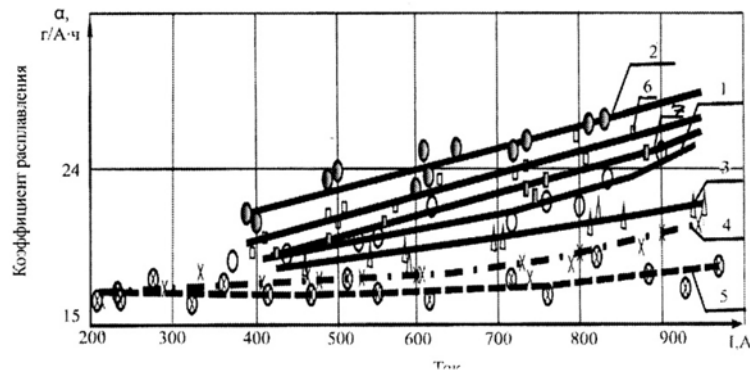


Рис. 4. Влияние изменения величины тока, напряжения и скорости наплавки на коэффициент расплавления: 1 – с применением принудительного переноса, ленточный электрод сечением 0,5x40 мм, материал Св08А,  $U_0=32В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=30 Гц$ ; 2 – то же,  $U_0=40 В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=50 Гц$ ; 3 – то же,  $U_0=32 В$ ,  $V_n=15 м/ч$ ,  $f=20 Гц$ ; 6 – то же,  $U_0=40 В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=45 Гц$ ; 7 – то же,  $U_0=32В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=40 Гц$ ; 4 – без применения принудительных колебаний, ленточный электрод сечением 0,5x40 мм, материал Св08А,  $U_0=40В$ ,  $V_n=20 м/ч$ ; 5 – то же,  $U_0=32 В$ ,  $V_n=20 м/ч$

Из рис. 5 видно, что при одинаковых значениях плотности тока коэффициент расплавления растет с увеличением ширины ленты, что связано с увеличением мгновенной плотности тока. Для большей ширины ленты при равной средней плотности тока абсолютное значение тока больше.

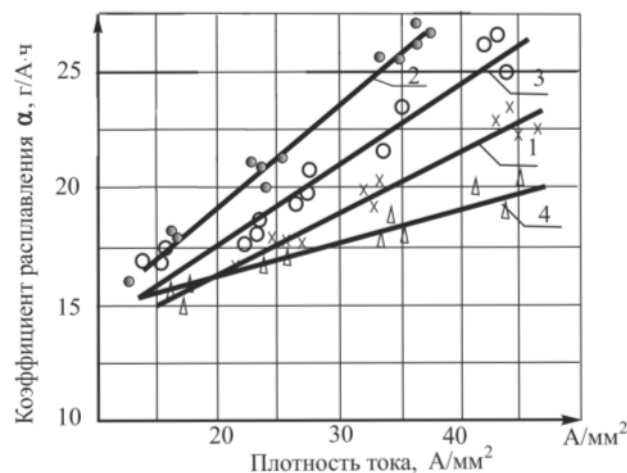


Рис. 5. Зависимость коэффициента расплавления от плотности тока: 1 – ленточный электрод 40x0,5 мм, полярность обратная; 2 – то же, прямая полярность; 3 – ленточный электрод 60x0,5 мм, полярность обратная; 4 – ленточный электрод 20x0,5 мм, полярность обратная

Увеличение напряжения дуги с 32 до 40 В, при прочих равных условиях, приводит к возрастанию коэффициента расплавления ленточного электрода на 20–25 % при использовании механических колебаний. Увеличение коэффициента расплавления с повышением напряжения дуги можно объяснить следующими причинами.

В таблице приведены данные о влиянии режима наплавки и частоты колебаний ленточного электрода на коэффициент расплавления.

С повышением напряжения дуги, при сохранении постоянной величины сварочного тока, увеличивается полная электрическая мощность дуги. Одновременно уменьшаются величина вылета ленточного электрода и предварительный подогрев электрода в вылете.

*Влияние количества колебаний ленточного электрода на коэффициент расплавления*

№ п/п	U <sub>д</sub> , В	V <sub>н</sub> , м/ч	Частота колебаний торца, Гц	Коэффициент расплавления, г/А·ч
1	32	10	30	18-25
2	40	10	50	20-28
3	32	15	20	17-22
4	40	20	–	16-20
5	32	20	–	16-17
6	40	10	45	18-27
7	32	10	40	18-26

Однако увеличение коэффициента расплавления с повышением мощности дуги происходит более интенсивно, чем его уменьшение за счет сокращения вылета, что, в конечном итоге, и приводит к увеличению коэффициента расплавления.

Повышение скорости наплавки с 10 до 15 м/ч приводит к уменьшению коэффициента расплавления на 5–10 %, что объясняется увеличением расхода тепла дуги на плавление флюса.

На характер изменения коэффициента расплавления электродной ленты с изменением напряжения дуги оказывают влияние условия плавления и переноса электродного металла, а также подогрев ленты расплавленным флюсом. Значительный рост коэффициента расплавления не может быть объяснен только более высоким значением термического КПД процесса каплеобразования. С возрастанием напряжения дуги увеличивается количество расплавленного флюса, что приводит к увеличению тока шунтирования и частичному переходу дугового процесса в электрошлаковый. С увеличением количества расплавленного флюса возрастает степень подогрева электрода, контактирующего с ним.

В момент возбуждения и в процессе горения дуги между нерасплавившимися участками ленты и расплавленным металлом сварочной ванны плотность тока в этих участках ленты в десятки и сотни раз больше, чем средняя плотность тока в ленточном электроде. Однако известно, что с увеличением плотности тока в электроде скорость его плавления и коэффициент расплавления увеличиваются. В связи с этим часто повторяющееся увеличение плотности тока на отдельных участках ленты приводит к заметному увеличению коэффициента расплавления ленточного электрода.

Осциллографирование процесса наплавки показало, что при увеличении частоты колебания от 0 до 50 Гц величина разброса полезного сигнала снижается с 55 до 8 мВ на каждый датчик, характер кривой становится регулярным. При дальнейшем увеличении частоты до 70 Гц на осциллограмме появляются нерегулярные всплески и равномерность кривой ухудшается.

**Выводы.** Определены основные требования к параметрам технологического процесса наплавки с принудительным механическим управлением переносом электродного металла, которые осуществляют такие процессы.

Исследовано управление процессом плавления ленточного электрода. Установлено, что при использовании частоты колебаний ленточного электрода в диапазоне 40–50 Гц коэффициент расплавления повышается на 20–25 %, процесс наплавки стабилизируется, что также подтверждается результатами осциллографирования.

**Список использованных источников**

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

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

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

3. *Лебедев В. А.* Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла. (Обзор) / В. А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 10. – С. 45–52.

4. *Патент* на винахід № 101288, МПК В23К 9/12 (2006.01). Пристрій для наплавлення стрічковим електродом під флюсом / О. М. Серенко, О. В. Лаврова, В. П. Иванов, В. О. Серенко (Україна). – № а 201205838 ; заявл. 14.05.12 ; опубл. 11.03.13, Бюл. № 5. – 4 с.

5. *Лаврова Е. В.* Анализ сил, действующих на каплю электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом с управляемым переносом электродного металла / Е. В. Лаврова // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. Серія: Технічні науки : зб. наук. пр. – Краматорськ : Донбаська Державна машинобудівна академія (ДДМА), 2014. – Вип. № 1 (32). – С. 204–209.

6. *Лаврова Е. В.* Разработка устройства для наплавки под флюсом ленточным электродом с управляемым переносом электродного металла / Е. В. Лаврова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки». – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2014. – № 1 (71). – С. 164–167.

УДК 621.791.4

**О.О. Новомлинець**, канд. техн. наук

**С.В. Олексієнко**, канд. техн. наук

**С.М. Ющенко**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**В.О. Мартиненко**, канд. техн. наук

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

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ КІНЕТИКИ АЛЮМІНІЮ ПРИ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**О.А. Новомлинец**, канд. техн. наук

**С.В. Олексієнко**, канд. техн. наук

**С.М. Ющенко**, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**В.А. Мартыненко**, канд. техн. наук

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

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ КИНЕТИКИ АЛЮМИНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**Oleh Novomlynets**, PhD in Technical Sciences

**Serhii Oleksiienko**, PhD in Technical Sciences

**Svitlana Yushchenko**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**Volodymyr Martynenko**, PhD in Technical Sciences

The Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

### INVESTIGATION OF ALUMINIUM DEFORMATION KINETICS UNDER HIGH TEMPERATURES

*Отримано дані для математичного моделювання високотемпературної деформації алюмінію під час статичного навантаження. Показано можливість теоретичного визначення температурної залежності коефіцієнта Пуассона. Результати можуть бути використані для розроблення технології прецизійного з'єднання алюмінію та його сплавів.*

**Ключові слова:** алюміній, деформація, прецизійне з'єднання, модуль пружності, границя текучості, коефіцієнт Пуассона, швидкість повзучості.



Получены данные для математического моделирования высокотемпературной деформации алюминия при статической нагрузке. Показана возможность теоретического определения температурной зависимости коэффициента Пуассона. Результаты могут быть использованы для разработки технологии прецизионного соединения алюминия и его сплавов.

**Ключевые слова:** алюминий, деформация, прецизионное соединение, модуль упругости, предел текучести, коэффициент Пуассона, скорость ползучести.

The data for the mathematical modeling of aluminium high-temperature deformation under the static load have been received. The possibility of the theoretical determination of Poisson's ratio temperature dependence has been shown. The results can be used for the development of the precision joint technology of aluminium and alloys.

**Key words:** aluminium, deformation, precision joint, elastic modulus, yield point, Poisson's ratio, creep rate.

**Постановка проблеми.** Прецизійне з'єднання алюмінію та його сплавів зварюванням тиском потребує незначних питомих зусиль для забезпечення мінімальної відносної деформації виробів. Це обумовлено тим, що під час підвищення температури відбувається різке зниження пружних властивостей [1] та підвищується плинність матеріалу [2].

У деяких випадках процес реалізують із застосуванням формуючих пристроїв, які дозволяють обмежувати пластичну деформацію алюмінієвих деталей. Однак у випадку виготовлення складних за конфігурацією виробів таке застосування формуючих пристроїв буде ускладненим чи взагалі неможливим.

Тому для розроблення технологічних процесів прецизійного з'єднання є абсолютно необхідним встановлення розрахунковим способом характеру деформування виробів під дією термодформаційного навантаження обраного процесу з'єднання.

Останніми роками проведення розрахунків конструкційних елементів з урахуванням пластичності та повзучості матеріалу інтенсивно вдосконалюється за рахунок використання скінченно-елементного програмного забезпечення, відкриваються можливості більш повного описання елементів конструкцій з урахуванням реальних властивостей матеріалів, характеру навантаження тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з деформаційною теорією пластичності [3] у пружно-пластичному тілі припускається наявність однозначної залежності між сумарними деформаціями та напруженнями. Для ізотропного тіла інтенсивність деформації дорівнює сумі інтенсивностей пластичних та пружних деформацій [3]:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^p + \varepsilon_i^e = \frac{2(1+\nu)}{3E} \psi \sigma_i, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_i^p$  – пластична деформація у  $i$ -му напрямку;

$\varepsilon_i^e$  – пружна деформація у  $i$ -му напрямку;

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона;

$E$  – модуль пружності;

$\psi$  – параметр пластичності;

$\sigma_i$  – напруження у  $i$ -му напрямку.

Залишкова (пластична) деформація, що збільшується з часом при постійному напруженні, називається деформацією повзучості та позначається  $\varepsilon_c$ . Графічне зображення залежності залишкової деформації від часу випробувань у разі постійних напружень та температури називають кривою повзучості (рис. 1).

Швидкість деформації повзучості, або скорочено швидкість повзучості, визначається за виразом [4]:

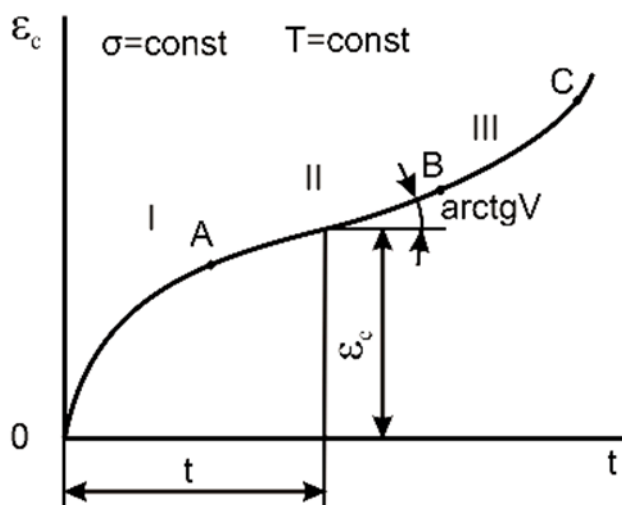


Рис. 1. Крива повзучості [4]:  
I – стадія неусталеної повзучості; II – стадія усталеної повзучості; III – стадія руйнування



$$V = \frac{d\varepsilon_c}{dt} \tag{2}$$

Результати експериментального визначення швидкості повзучості при низьких значеннях напружень на усталеній стадії має вигляд [4]:

$$V = B\sigma^n, \tag{3}$$

де  $B, n$  – параметри матеріалу, що залежать від температури.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Визначення характеру та величини деформації виробу можливе за умови наявності даних щодо зміни залежно від температури нагріву модуля пружності, коефіцієнта Пуассона, границі текучості матеріалу та швидкості повзучості матеріалу при заданій температурі залежно від величини навантаження.

Стосовно зазначених властивостей алюмінію в літературі наведено обмежений ряд даних.

**Мета статті.** Розрахунково-експериментальним способом визначити температурні залежності пружно-пластичних властивостей алюмінію.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення деформації у межах пружності користуються кривими деформування (рис. 2).

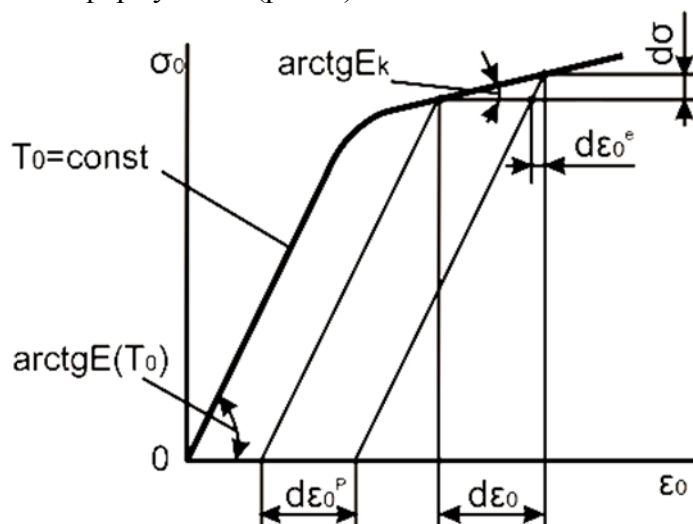


Рис. 2. Крива деформування під час розтягу з постійною температурою [5]

Вивчення повзучості алюмінієвих сплавів у разі стиску показало, що різниця між кривими повзучості під час розтягу та стиску не виходять за межі смуги розкиду точок [6].

Задача щодо визначення границі між пружними  $\varepsilon^e$  та пластичними  $\varepsilon^p$  деформаціями залежно від зміни модуля пружності  $E$  та границі текучості  $\sigma_T$  від температури зводиться до визначення величини  $arctg(E)$ , якщо вона вирішується графічно за кривими деформування, або до визначення  $\varepsilon^e$  за законом Гука. Розраховані значення вказаних величин для алюмінію з використанням даних стосовно зміни модуля пружності наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Зміна модуля пружності та границі текучості алюмінію залежно від температури

T, K	293	373	473	573	673	773	873
$\sigma_T$ , МПа [2]	12	11,5	11	10	5,1	2	1,5
$E$ , Гпа [1]	71	70	66	61	56	50	44
$arctg(E)$	89,193	89,182	89,132	89,061	88,977	88,854	88,698

На рис. 3 наведено графічні залежності функції  $\varepsilon=f(t)$  під час дослідження зразків з алюмінію марки АД00 розмірами 10×10×10 мм на одновісний стиск при температурі

853 К. Використання такої температури авторами [7; 8] обґрунтоване тим, що прецизійне з'єднання алюмінію та його сплавів можливе за рахунок використання проміжних прошарків системи *Al-Si*, евтектична температура плавлення яких становить значення 850 К.

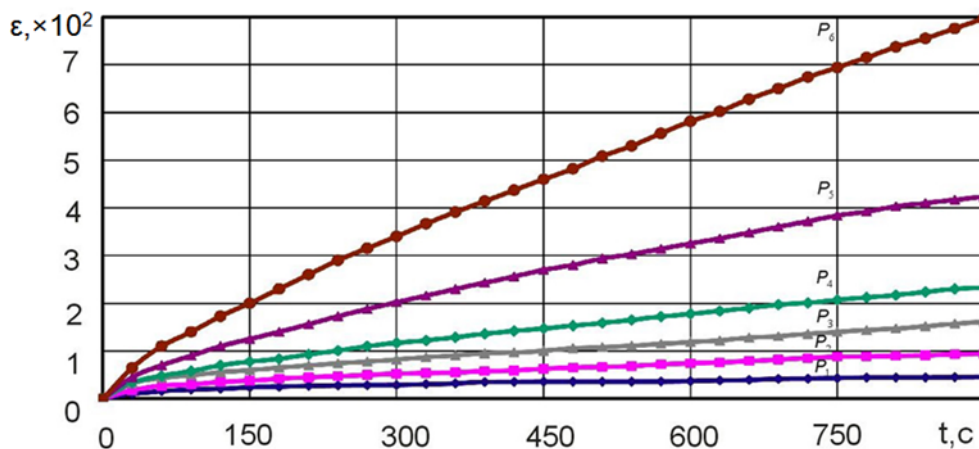


Рис. 3. Залежність величини деформації зразка з АД00 від часу дії притискаючого зусилля,  $T=853$  К:  
 $P_1 = 0,5$  МПа;  $P_2 = 0,75$  МПа;  $P_3 = 1$  МПа;  $P_4 = 1,25$  МПа;  $P_5 = 1,5$  МПа;  $P_6 = 1,75$  МПа

Наприклад, для випадку, коли питоме зусилля становить 1,5 МПа (крива  $P_5$  на рис. 3), функція  $\varepsilon=f(t)$  буде мати вигляд:

$$\varepsilon_{1,5} = -2 \cdot 10^{-6} t^2 + 0,0062t + 0,3712,$$

а швидкість на всіх стадіях усталеної повзучості може бути визначена за виразом (2).

Однак зазначених і отриманих вище результатів недостатньо для отримання об'ємної картини деформування виробу. Для можливості визначення складових деформації за трьома напрямками необхідно знати коефіцієнт поперечної деформації, або коефіцієнт Пуассона.

У деяких літературних джерелах [9–12] наводяться різноманітні залежності для визначення коефіцієнта Пуассона  $\nu$  через параметр Грюнайзена  $\gamma$ , який є мірою ангармонічності сил, що діють між атомами або молекулами твердого тіла і, подібно до  $\nu$ , широко використовується для описання властивостей кристала.

Найбільш придатними нам видаються співвідношення, представлені у роботі [10], які дозволяють визначати  $\nu$  при відомому  $\gamma$  і навпаки:

$$\nu = \frac{4/3\gamma - 1}{2\gamma + 1}, \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{3(1 + \nu)}{2(2 - 3\nu)}. \quad (5)$$

Для більшості чистих металів та певних простих з'єднань добре виконується закон Грюнайзена, що встановлює однакову температурну залежність теплоємності та коефіцієнта теплового розширення (КТР).

Для алюмінію при кімнатній температурі ( $T = 293$  К) коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,34$ , тоді під час підстановки у (5) параметр Грюнайзена  $\gamma$  становить 2,051.

Відомі спроби зіставлення коефіцієнта Пуассона з параметром Грюнайзена. Так, автори [10] наводять таку залежність:

$$1 - 2\nu = \frac{E\alpha V}{\gamma C_V}, \quad (6)$$

де  $E$  – модуль пружності;

$\alpha$  – КТР;

$V$  – молярний об'єм;

$C_v$  – молярна теплоємність при сталому об'ємі.

Але для визначення коефіцієнта  $\nu$  ця формула потребує знання п'яти різних параметрів. Згідно з [13] закон Грюнайзена подається у дещо іншому вигляді:

$$\alpha = \frac{\gamma C_v^{yo}}{3K}, \quad (7)$$

де  $C_v^{yo} = C_v/V$  – питома молярна теплоємність при постійному об'ємі;

$K$  – ізотермічний модуль усебічного (об'ємного) стиску, який вважається таким, що мало залежить від температури, тобто для інженерних розрахунків його значення можна брати постійним. Для алюмінію при кімнатній температурі  $K = 7,5 \cdot 10^{10}$  Па.

Встановлено, що при будь-яких температурах для металів відношення КТР до питомої теплоємності дорівнює сталій величині [14]:

$$\frac{\alpha}{C_v^{yo}} = \frac{\gamma}{3K} = \text{const}. \quad (8)$$

З урахуванням (8) формула (6) набуває вигляду:

$$1 - 2\nu = \frac{E\alpha}{\gamma C_v^{yo}} = \frac{E}{3K}. \quad (9)$$

Звідси коефіцієнт Пуассона:

$$\nu = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{E}{3K} \right). \quad (10)$$

На прикладі алюмінію марки АД00 за формулою (10) було проведено розрахунок коефіцієнта Пуассона при відомих з літературних джерел значеннях модуля пружності (табл. 1) та модуля об'ємного стиску. Одержані значення коефіцієнтів наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта Пуассона алюмінію залежно від температури

Температура, К	293	373	473	573	673	773	873
$\nu$	0,342	0,344	0,353	0,364	0,376	0,389	0,402

### Висновки та пропозиції.

1. Встановлено можливість теоретичного визначення температурної залежності коефіцієнта Пуассона алюмінію на основі закону Грюнайзена.

2. Отримані в роботі дані щодо зміни механічних властивостей алюмінію залежно від температури можуть бути використані для математичного моделювання статично навантажених високотемпературних конструкцій.

### Список використаних джерел

1. Бадамшин И. Х. От четырех к одному. Силы внутриатомного взаимодействия и прочность материалов / И. Х. Бадамшин. – М. : Академия естествознания, 2014.

2. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов / Я. Б. Фридман. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Ч. 1. Деформация и разрушение. – М. : Машиностроение, 1974. – 472 с.

3. Работнов Ю. Н. Сопротивление материалов / Ю. Н. Работнов. – М. : Физматгиз, 1963. – 456 с.

4. Биргер И. А. Сопротивление материалов : учебное пособие / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.

5. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин : справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.

6. Сапунов В. Т. Основы теории пластичности и ползучести : учебное пособие / В. Т. Сапунов. – М. : МИФИ, 2008. – 220 с.
7. Спосіб реактивно-флюсового паяння алюмінію / С. В. Олексієнко, Р. А. Куликовський, В. О. Мартиненко, С. М. Ющенко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. – № 2. – С. 84–87.
8. Олексієнко С. В. Вплив електропереносу на дифузійну кінетику в системі Al-Si-Al / С. В. Олексієнко, В. О. Мартиненко, Р. А. Куликовський // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – № 4 (69). – С. 91–95.
9. Жирифалько Л. Статистическая физика твердого тела / Л. Жирифалько. – М. : Мир, 1975. – 382 с.
10. Беломестных В. Н. Коэффициент Пуассона и параметр Грюнайзена твердых тел / В. Н. Беломестных, Е. П. Теслева // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, № 5. – С. 8–12.
11. Дармаев М. В. Ангармонизм колебаний решетки и поперечная стеклообразных и кристаллических материалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 01.04.14 «Теплофизика и тероретическая теплотехника» / М. В. Дармаев. – Улан-Удэ, 2009. – 19 с.
12. Сандитов Д. С. Ангармонизм колебаний решетки и поперечная деформация кристаллических и стеклообразных твердых тел / Д. С. Сандитов, В. В. Мантатов, Б. Д. Сандитов // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, вып. 5. – С. 947–951.
13. Физическая энциклопедия : в 5 т. Т. 1 / под ред. А. М. Прохорова. – М. : Советская энциклопедия, 1988. – 704 с.
14. Кириллин В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 407 с.

УДК 629.1.01

**Т.В. Гансева**, асистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### **РОЗРОБЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗВАРНИХ ВУЗЛІВ РАМ ВЕЛОСИПЕДІВ**

**Т.В. Ганеева**, ассистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### **РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ СВАРНЫХ УЗЛОВ РАМ ВЕЛОСИПЕДОВ**

**Tetiana Hanieieva**, assistant

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### **DEVELOPMENT OF APPROACHES TO CHOOSING OPTIMAL CONSTRUCTION OF WELDED UNITS OF BIKES FRAMES**

*Розглянуто вплив технологічних прийомів на надійність та довговічність велосипедних рам з алюмінієвих сплавів. Проведено моделювання впливу зміни катета зварного шва, використання косинок та пластин. Розроблено рекомендації щодо вибору оптимальної конструкції зварних вузлів рам велосипедів.*

**Ключові слова:** рама велосипеда, катет зварного шва, технологічні прийоми, баттінг.

*Рассмотрено влияние технологических приемов на надежность и долговечность велосипедных рам из алюминиевых сплавов. Проведено моделирование влияния изменения катета сварного шва, использование косынок и пластин. Разработаны рекомендации по выбору оптимальной конструкции сварных узлов рам велосипедов.*

**Ключевые слова:** рама велосипеда, катет сварного шва, технологические приемы, баттинг.

*The influence of technological methods for reliability and durability of bicycle frames made of aluminum alloys. The modeling of the impact of changing legs weld, use kerchiefs and plates. The guidelines for choosing the optimal design of welded bicycle frames nodes.*

**Key words:** bike frame, legs weld, technological methods, butting.

**Постановка проблеми.** Сучасний асортимент велосипедів дуже широкий, виробники використовують як різні матеріали для виготовлення рам велосипедів, так і безліч конструктивних рішень. Часто нові форми рам – це лише маркетинговий хід. Для това-

рознавця під час складання замовлення та приймання за якістю виникають труднощі щодо визначення критеріїв вибору якісного велосипеда.

Основою будь-якого велосипеда та найдорожчим елементом є його рама. В асортименті світових лідерів виробників велосипедів (Cube, Giant, Scott, Specialized) алюмінієві рами займають більше двох третин [1]. Для алюмінієвих сплавів, крім характеристик міцності, важливе значення мають втомні руйнування. Тому обґрунтування рекомендацій щодо вибору надійного вузла рами велосипеда з алюмінієвих сплавів за критеріями напружень, що виникають, та коефіцієнта запасу за втомою є актуальним питанням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження і публікації, присвячені велосипедному транспорту, спрямовані у трьох основних напрямках: організація та вдосконалення спортивних змагань [2; 3], дослідження ринку велосипедів [4] та дослідження аеродинамічних характеристик системи гонщик-велосипед [5]. Josh Patterson [6], Sheldon Brown та інші постійно публікують огляди новинок велотоварів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** У джерелах інформації для товарознавця наводяться технічні характеристики моделей, описуються новітні впровадження, але за ними неможливо оцінювати надійність та довговічність рами. Виникає необхідність у розробленні узагальнених параметрів, що дозволять скласти уявлення про доцільність використання технологічних прийомів.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розроблення підходів до вибору оптимальної конструкції зварних вузлів алюмінієвих рам велосипедів на основі їх моделювання та розрахунку за допомогою ПЕОМ.

**Виклад основного матеріалу.** Найбільш навантаженими вузлами велосипедної рами є рульовий та підсідельний. Більшість руйнувань припадає саме на рульову стійку. Тому розглянуто саме цей вузол.

3D-модель було побудовано у програмному комплексі КОМПАС-3D версії 15.2 ED. Розрахунок моделі проведено за допомогою системи аналізу міцності АРМ FEM за такими параметрами: матеріал рульової стійки – АД33 (міжнародний аналог – сплав 6061), закріплення та навантаження відображають умови експлуатації вузла. Для розрахунку методом скінченних елементів модель було розбито на тетраедри з максимальною довжиною сторони 3,5 мм. Для вирішення системи отриманих при цьому рівнянь використовували метод Sparse.

Для дослідження впливу геометрії зварного шва на якість вузла рами вносили зміни щодо катета. Представлено результати розрахунку для найбільш застосовуваних катетів: 3, 6 та 9 мм (рис. 1).

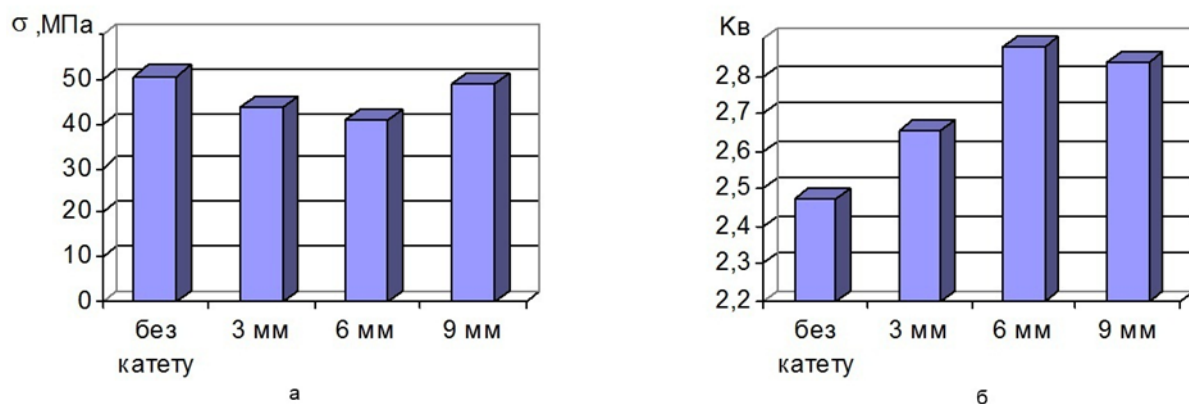


Рис. 1. Залежність еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) від геометрії зварного шва

З наведених залежностей випливає, що еквівалентні напруження під час збільшення катета шва до 6 мм зменшуються, подальша зміна розміру катета підвищує значення

цього показника. Відповідно, коефіцієнт запасу за втомою досягає найбільшого значення при категорії шва 6 мм – 2,879 (рис. 2).

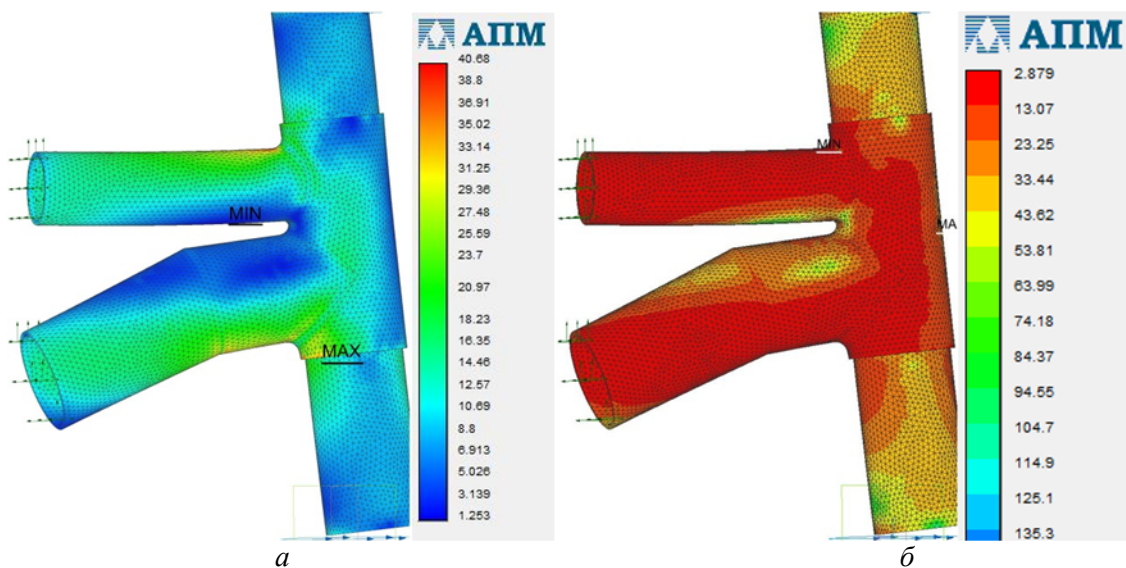


Рис. 2. Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) для катета зварних швів 6 мм

Збільшення катета зварного шва до 6 мм призводить до зниження напружень у вузлі на 20 %, при цьому значного впливу на коефіцієнт запасу за втомою цей параметр не має.

Для дослідження впливу технологічних прийомів щодо зменшення напружень моделювали додаткове встановлення косинки та бічних пластин. Результати розрахунку представлені на рис. 3.

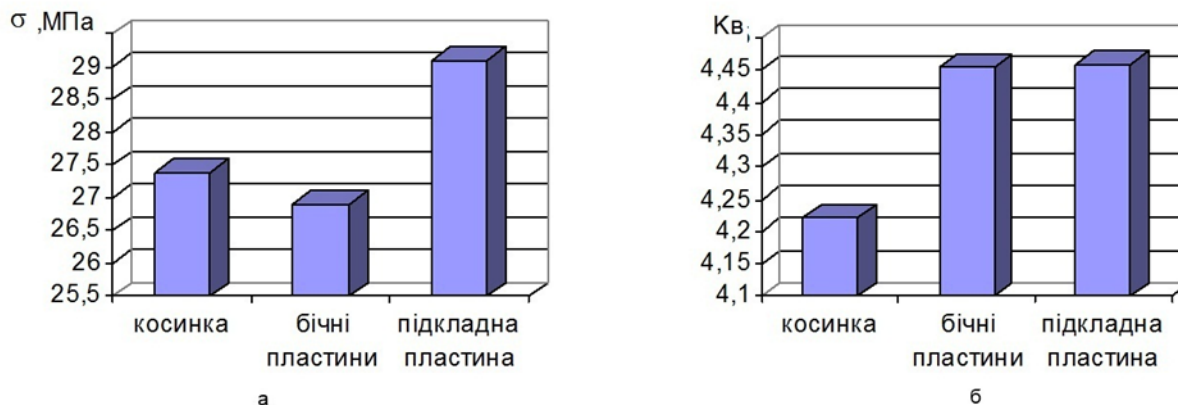


Рис. 3. Залежність еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) від використаного технологічного прийому

Використання косинки між верхньою та нижньою трубами нівелює напруження з рівня 40,68 до 27,4 МПа, підвищує коефіцієнт запасу з 2,879 до 4,222, але використання такого прийому технологічно складне (рис. 4). Встановлення вертикальних бічних пластин простіше, дає кращі результати (напруження знижується на 34 %, коефіцієнт запасу зростає на 36 %), але збільшує матеріалоемність вузла, витрати праці та часу на зварювання більшої довжини шва (рис. 5). Підкладна пластина знижує еквівалентні напруження у вузлі на 29 %, підвищує коефіцієнт запасу за втомою на 36 % (рис. 6).



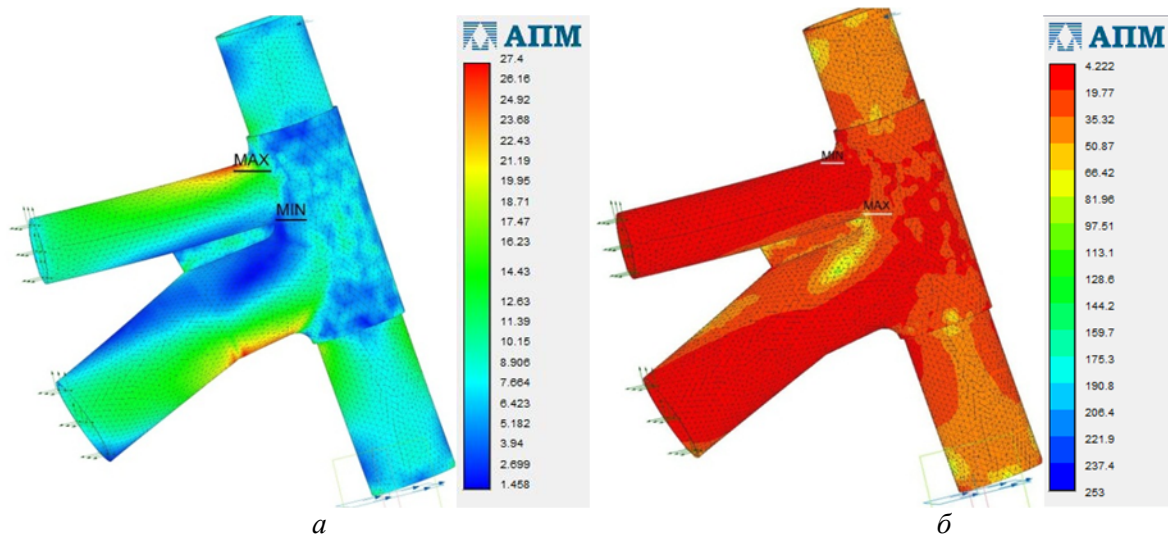


Рис. 4. Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) під час використання косинки

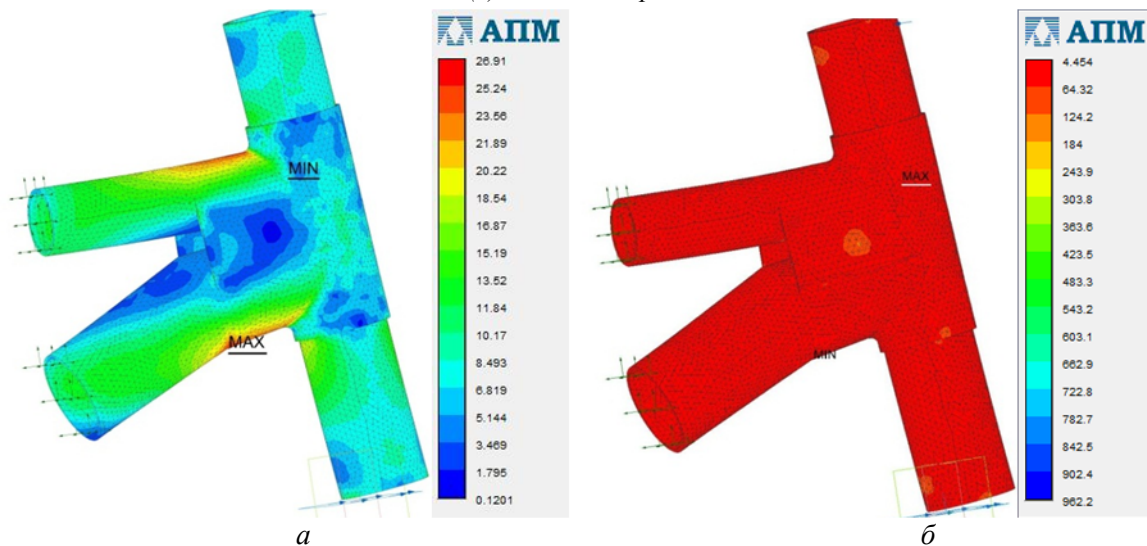


Рис. 5. Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) під час використання бічних пластин

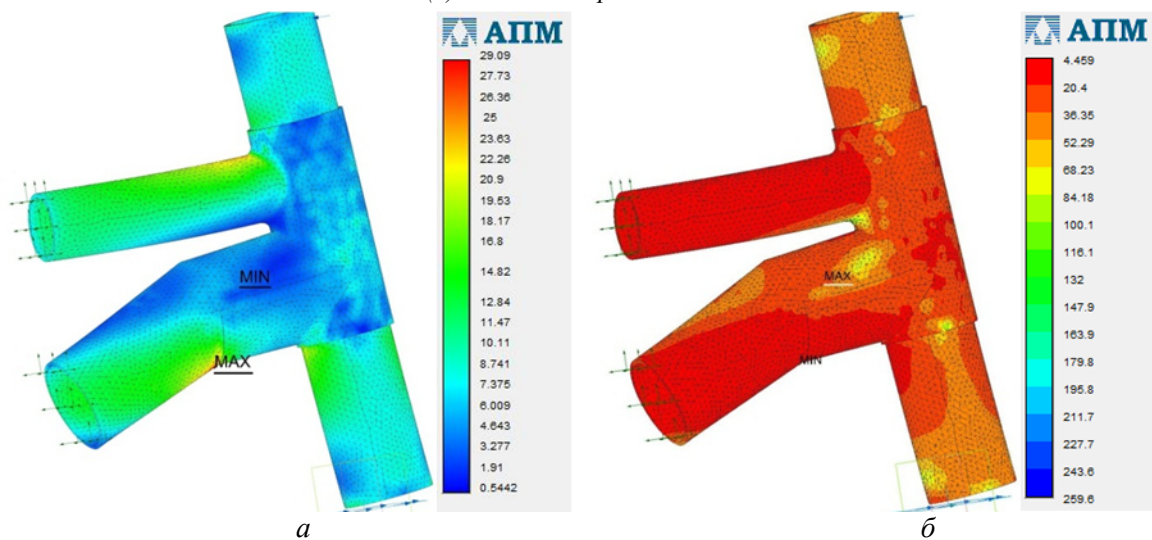


Рис. 6. Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) під час використання підкладної пластини

З погляду технологічності та отриманих результатів товарознавець повинен звертати увагу на рами з нижньою пластиною, але результати, отримані під час використання косинки та бічних пластин, також позитивні.

Більшість виробників використовують зміну поперечного перерізу труб велосипедної рами (баттінг), тому наступним етапом дослідження було визначення впливу геометрії труб. Результати розрахунку представлені на рис. 7.

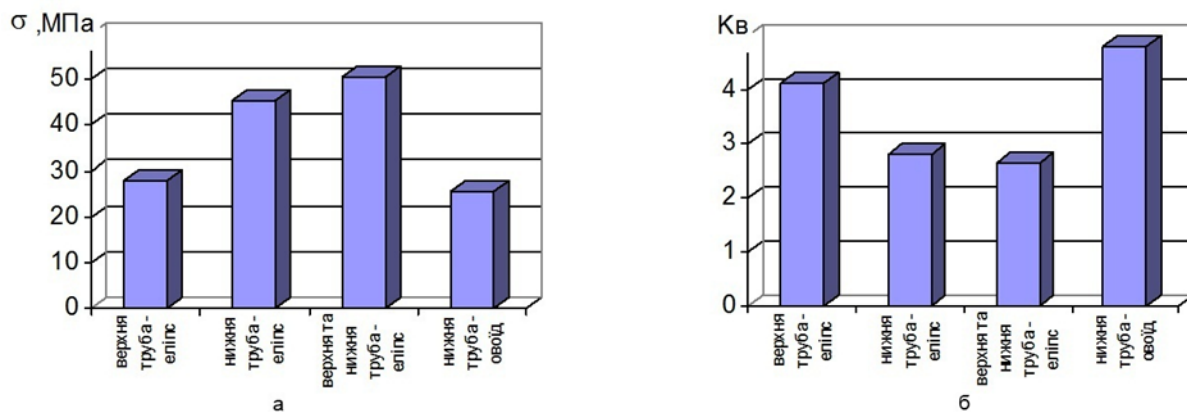


Рис. 7. Залежність еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) від форми перерізу верхньої та нижньої труби

Заміна круглого перерізу на еліптичний верхньої труби знижує еквівалентні напруження у вузлі на 45 % до 28,01 МПа, нижньої труби – на 11 % до 45,3 МПа, обох труб – не змінює. У більш дорогих моделях велосипедів використовуються труби овоїдного перерізу, який під час застосування у конструкції нижньої труби дає зниження еквівалентних напружень на 49 % до 25,89 МПа та збільшення коефіцієнта запасу за втомою на 49 % (рис. 8).

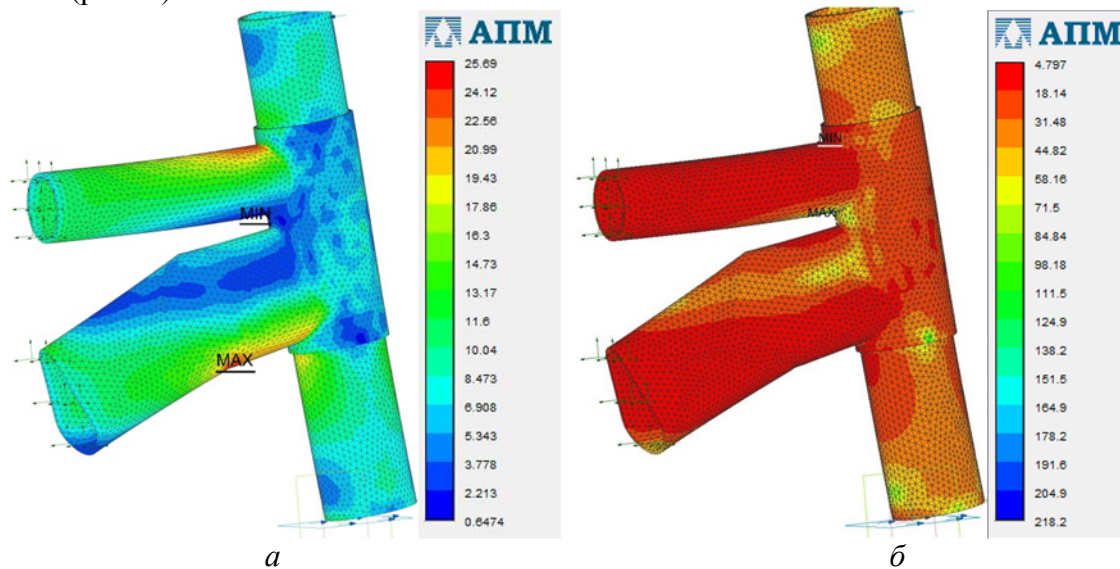


Рис. 8. Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом (а) та коефіцієнта запасу за втомою (б) під час використання овоїдного перерізу в конструкції нижньої труби велосипедної рами

Більшість виробників використовують у виробництві алюмінієвих рам велосипедів еліптичну форму перерізу, яка є простішою у виготовленні, ніж овоїдна, для просування нових моделей на ринку. Але за результатами моделювання рульового вузла велосипеда така форма труби не є оптимальною.

**Висновки і пропозиції.** Через відсутність інформації з боку виробників про вплив технологічних прийомів, що ними використовуються, на надійність та довговічність



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

велосипедної рами у роботі було проведено моделювання зварних вузлів із застосуванням основних технологічних прийомів.

Для дослідження впливу геометрії зварного шва на якість вузла рами вносили зміни щодо катета. Збільшення катета зварного шва до 6 мм призводить до зниження напружень у вузлі на 20 %, при цьому значного впливу на коефіцієнт запасу за втотою цей параметр не має. Таким чином, оптимальним розміром катета зварного шва для рами з алюмінієвих сплавів є 6 мм.

Використання косинки між верхньою та нижньою трубами нівелює напруження з рівня 40,68 до 27,4 МПа, підвищує коефіцієнт запасу з 2,879 до 4,222, але використання такого прийому технологічно складне. Встановлення вертикальних бічних пластин простіше, дає кращі результати (напруження знижуються на 34 %, коефіцієнт запасу зростає на 36 %), але збільшує матеріалоемність вузла, витрати праці та часу на зварювання більшої довжини шва. Підкладна пластина знижує еквівалентні напруження у вузлі на 29 %, підвищує коефіцієнт запасу за втотою на 36 %. Товарознавець повинен віддавати перевагу рамам з нижньою пластиною, але використання у конструкції рами косинки та бічних пластин також можливе.

Зміну поперечного перерізу труб велосипедної рами (баттінг) розглядали на прикладі використання еліптичної та овоїдної форми. Заміна круглого перерізу на еліптичний верхньої труби знижує еквівалентні напруження у вузлі на 45 % до 28,01 МПа, нижньої труби – на 11 % до 45,3 МПа, обох труб – не змінює. Застосування у конструкції нижньої труби овоїдного перерізу дає зниження еквівалентних напружень на 49 % до 25,89 МПа та збільшення коефіцієнта запасу за втотою на 49 %. Більшість виробників використовують у виробництві алюмінієвих рам велосипедів баттінг у еліптичній формі, що здебільшого є маркетинговим кроком. За результатами моделювання рульового вузла велосипеда овоїдна форма перерізу нижньої труби рами велосипеда є оптимальною.

#### Список використаних джерел

1. *Артюх Т. М.* Використання алюмінієвих сплавів у виробництві велосипедних рам / Т. М. Артюх // Технічні науки та технології : науковий журнал. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (1). – С. 44–48.
2. *Любченко О. Н.* История развития велосипедной дисциплины даунхилл в России / О. Н. Любченко // Проблемы развития физической культуры и спорта в новом тысячелетии : материалы IV Международной научно-практической конференции (27 февраля 2015 г., г. Екатеринбург). – Екатеринбург, 2015. – С. 318–323.
3. *Любовицкий В. П.* Гоночные велосипеды / В. П. Любовицкий. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 319 с.
4. *Тюрин Д. В.* Исследование розничного рынка одноподвесных горных велосипедов (hardtail) начального и любительского уровня в городе Москве / Д. В. Тюрин, М. С. Лантух // Практический маркетинг. – 2011. – № 6 (172). – С. 4–13.
5. *Неуправляемый велосипед может быть устойчивым без гироскопического или стабилизирующего действия* / Я. Д. Г. Куйман, Я. П. Мейярд, Дж. М. Пападопулос, Э. Руина, А. Л. Шваб // Нелинейная динамика. – 2013. – Т. 9, № 2. – С. 377–386.
6. *Patterson Josh.* Trail Tech: Single-chainring frame design [Електронний ресурс] / Josh Patterson. – Режим доступу : <http://www.bikeradar.com/mtb/gear/article/trail-tech-single-chainring-frame-design-37952>.

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.82:004.89

**С.В. Голуб**, д-р техн. наук

**І.А. Жирякова**, канд. техн. наук

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, Україна

### НОВИЙ ПІДХІД ДО КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ

**С.В. Голуб**, д-р техн. наук

**І.А. Жирякова**, канд. техн. наук

Черкасский национальный университет имени Богдана Хмельницкого, г. Черкассы, Украина

### НОВЫЙ ПОДХОД К КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ

**Serhii Holub**, Doctor of Technical Sciences

**Iryna Zhyriakova**, PhD in Technical Sciences

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine

### NEW APPROACH FOR KNOWLEDGE CONCEPTUALIZATION

*Процес прийняття рішень у багатьох предметних областях – завдання досить нетривіальне, яке вимагає оброблення та аналізу великих обсягів інформації, що надходить ззовні, для обґрунтування прийнятих рішень. Отже, автоматизація процесу прийняття рішень є досить актуальним завданням сьогодення та однією з основних проблем під час створення будь-якої інтелектуальної системи, адже передбачає комплексний аналіз наявних підходів до роботи зі знаннями та вибір моделі їх подання. Саме модель подання знань визначає архітектуру, можливості і властивості системи, а також методи придбання знань інтелектуальною системою і роботи з ними. Тому в межах цього напрямку досліджень актуальним практичним завданням, рішення якого пропонується в цій роботі, є розроблення нового підходу до концептуалізації знань для формування баз знань, який би дозволив сформулювати адаптивні стратегії роботи з ними. Такий підхід припускає інші принципи збереження знань для їх подальшого індуктивного моделювання, що дозволить спростити процедуру отримання нових знань.*

**Ключові слова:** прийняття рішень, концептуалізації знань, база знань, модель подання знань, індуктивне моделювання.

*Процесс принятия решений во многих предметных областях – задача достаточно нетривиальная, требующая обработки и анализа больших объемов информации, поступающей извне, для обоснования принимаемых решений. Потому автоматизация процесса принятия решений является весьма актуальной задачей и одной из основных проблем при создании любой интеллектуальной системы, ведь предусматривает комплексный анализ существующих подходов к работе со знаниями и выбор модели их представления. Именно модель представления знаний определяет архитектуру, возможности и свойства системы, а также методы приобретения знаний интеллектуальной системой и работы с ними. Поэтому в рамках данного направления исследований актуальной практической задачей, решение которой предлагается в данной работе, является разработка нового подхода к концептуализации знаний для формирования баз знаний, который бы позволил сформировать адаптивные стратегии работы с ними. Данный подход предполагает иные принципы сохранения знаний для их дальнейшего индуктивного моделирования, что позволит упростить процедуру получения новых знаний.*

**Ключевые слова:** принятие решений, концептуализации знаний, база знаний, модель представления знаний, индуктивное моделирование.

*Decision-making in many areas is not a trivial task that requires analyzing and data processing a large quantities of information coming from the outside to argumentation this process. Therefore the automation of decision-making is the important task for development any intellectual system, because it means a complex analysis of existing approaches to work with the knowledge and models of their representation. The model of knowledge representation defines the architecture, features, properties of the system, acquisition of knowledge methods and work with them. Therefore, the actual practical task whose solution is proposed in this paper is development a new approach to the knowledge conceptualization for knowledge base create. This approach involves other principles of knowledge saving for inductive modeling that will simplify the procedure of new knowledge acquisition.*

**Key words:** decision-making, knowledge conceptualization, knowledge base, knowledge representation model, inductive modeling.

**Постановка проблеми.** Поняття «інтелектуальна система» у класичній теорії штучного інтелекту цілком і повністю пов'язане з поняттям «знання». Отже, будь-яка система, що містить базу знань, однозначно сприймається як інтелектуальна.

Однак знання, самі по собі, є дуже специфічним ресурсом. Вони важко ідентифікуються (можна виділити лише явні знання (explicit knowledge), які, у свою чергу,

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

пов'язані з неявними (tacit knowledge)), погано вимірюються (як якісно, так і кількісно) і формалізуються, а тому процес роботи зі знаннями пов'язаний з численними труднощами, виявлення, вивчення та усунення яких здійснює один з напрямків штучного інтелекту – інженерія знань.

В інженерії знань виділяється термін «робота зі знаннями», який пов'язує поняття «знання» і процес роботи з ними. Цей термін прийнято визначати екстенціонально через перерахування підпроцесів, які його визначають. До таких підпроцесів зазвичай відносять: видобування та набуття знань, а також їх подання та маніпулювання знаннями. До сфери аспектів роботи зі знаннями, крім зазначених підпроцесів, включають також методи і засоби, які їм сприяють. Крім того, будь-який з зазначених підпроцесів спирається на модель подання знань, яка, у свою чергу, впливає на структуру бази знань інтелектуальної системи та визначає можливі методи та засоби роботи з нею.

Також не слід забувати, що сучасні інтелектуальні системи, насамперед, мають бути адаптивними, адже знання не є сталою величиною, і їх обсяг лише збільшується під впливом появи та розвитку нових наукових напрямків досліджень. Отже, слід зазначити наявність суперечності, що полягає в тому, що побудова бази знань на основі розроблених раніше підходів не сприяє збільшенню ступеня адаптивності інтелектуальних систем, що своєю чергою не дає можливості створення нових більш ефективних засобів для автоматизації досить кропіткого та тривалого процесу інтеграції абстрактних знань у вибраній предметній області.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Концептуальну парадигму роботи зі знаннями сформулював і описав В.М. Глушков [1]. Також вагомий внесок у цій сфері був здійснений Д.А. Поспеловим, Н. Хомський, М. Мінським, Т.А. Гавриловою, А. Тарським, Д. Девідсоном, Н.Н. Леонтьєвою, Е.В. Поповим, В.А. Широковим і багатьма іншими. Крім того, багато з робіт за іншими напрямками штучного інтелекту, в тому числі математичній логіці, можна також віднести до цієї сфери [2–7].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на те, що нині розроблено досить багато моделей подання знань [8–11], найбільш використовуваними з яких є логічні, мережеві, продукційні, фреймові і формальні, в науковому співтоваристві досі немає згоди щодо раціональності застосування тієї чи іншої моделі для вирішення практичних завдань. Тому в межах цього дослідження пропонується новий підхід до концептуалізації знань, який дасть можливість вдосконалити роботу зі знаннями з застосуванням нових перспективних і більш ефективних методів їх формалізації, що дозволить без зайвих зусиль проводити модифікацію бази знань відповідно до поставленої задачі та дозволить створити адаптивні інструментальні засоби для автоматизованої побудови баз знань у вибраній предметній області.

**Мета статті.** Одним з найбільш істотних ознак теоретизації знання в будь-якій сфері є його методологічність, тобто направлення дослідження не тільки на об'єкт, але і на засоби його пізнання [12]. Від правильної постановки методологічних досліджень залежать успішність пізнання загальних закономірностей і виявлення законів розвитку досліджуваних об'єктів, процесів або явищ, а також ефективність наукових досліджень і їх суворі цілеспрямованість. Тому метою цієї роботи є формулювання загальних принципів концептуалізації знань і як наслідок методів їх зберігання для подальшого моделювання і використання. Такий підхід дозволить спростити процедуру отримання нових знань методами штучного інтелекту.

**Результати.** Одним з ключових завдань будь-якої наукової методології є однозначна експлікація основних вихідних понять. Тому в цій роботі зупинимося докладніше на таких поняттях, як дані, знання, концептуалізація або структурування знань і аналіз знань.

Дані – це окремі факти або показники (в якісній або кількісній формі), які необхідні для первинного поверхневого ознайомлення з об'єктом, процесом або явищем у певний момент часу, що характеризують його стан, для розуміння ознак і властивостей та дозволяють зробити певні висновки щодо аналізованого об'єкта, процесу або явища.

Знання завжди спираються на дані, адже являють собою інформацію про тенденції, які спостерігаються для досліджуваного об'єкта, процесу або явища на певному часовому проміжку, а також кількісно або якісно відображають його властивості та їх зміну під впливом зовнішніх факторів. Тобто, фактично, знання характеризує динаміку об'єкта, процесу або явища.

Концептуалізація – це процес перетворення набору знань на основі сформованих образів. Кожен образ являє собою поєднання знань для опису нової властивості досліджуваного об'єкта, процесу або явища. Тобто образ містить у собі структуру взаємозв'язків між знаннями, яка дає можливість сформуванню поля знань на кожному рівні ієрархії моделі подання. У процесі висхідного синтезу багаторівневої моделі [13] породжується новий образ, що дозволяє відобразити можливі тенденції до зміни на референтному полі знань та сформулювати гіпотези про природу і характер досліджуваного об'єкта. Тому кожен образ – це комплексна комбінація нових знань про досліджуваний об'єкт, процес або явище.

Концептуальний аналіз або структурування знань, як і їх вилучення, традиційно є комплексом задач, що розв'язуються у процесі реалізації життєвого циклу розроблення інтелектуальних систем [14]. Наявні методології найчастіше спираються на теорію великих систем [15], яка пізніше переросла в сучасну теорію складних систем [16]. У ній основний акцент робиться на стадії проектування. Це також простежується в роботах К. Шеннона з математичного моделювання поняття інформації [17]. Пізніше було зроблено кілька, на думку авторів, вдалих спроб сформулювати і розвинути математичні теорії систем, що самоорганізуються, ґрунтуючись на яких знання з будь-якої предметної області можна подати у вигляді взаємопов'язаних моделей, що самоорганізуються.

Відповідно до нового підходу, який пропонується в цій роботі, глобальна мета системи штучного інтелекту реалізується за допомогою формування багаторівневої стратифікованої структури бази знань. Кожна окрема страта містить єдине поле знань, що породжує кілька образів об'єкта і є поєднанням багатопараметричних моделей, які розв'язують локальні задачі перетворення інформації на заданому рівні ієрархії. База знань будується у вигляді ієрархічного поєднання образів, породжених полями знань.

Задача координації моделей об'єктів моніторингу як основних структурних елементів в межах окремого поля знань та узгодження взаємодії полів знань при формуванні цілісності структури бази знань розв'язується завдяки застосуванню основних принципів систем, що самоорганізуються, які реалізуються методами штучного інтелекту:

- Неостаточності прийняття рішень. Приймати рішення сьогодні необхідно таким чином, щоб забезпечити максимальну свободу вибору для прийняття майбутніх рішень на кожному кроці самоорганізації [18].

- Зовнішнього доповнення. Ґрунтується на теоремі К. Геделя [19] і полягає в тому, що тільки зовнішні критерії якості моделі, засновані на нових знаннях, дозволяють синтезувати адекватну модель складного об'єкта, процесу або досліджуваного явища, приховану в первинних зашумлених даних.

- Масової селекції, який запропонований О.Г. Івахненком [20] і полягає в забезпеченні поступового самоорганізованого ускладнення структури моделі таким чином, щоб критерій її якості проходив через свій мінімум.

Процес селекції знань являє собою процес формування багаторівневої моделі, за допомогою якої реалізується виконання поставленого завдання в окремій предметній

області (рис. 1). Зрозуміло, що для однієї предметної області може бути сформульовано кілька завдань, що потребують розв'язку за допомогою інтелектуальної системи. Для виконання окремого завдання, коли структура об'єкта і, відповідно, багаторівневої моделі невідома, або відома не повністю, задаються модельовані показники та критерії селекції моделей. Після цього синтезуються певні набори локальних моделей знань різної складності і відбираються (селекціонуються) кращі з них за заданим критерієм. При формулюванні іншого завдання для цієї предметної області змінюються модельовані показники та критерії селекції моделей.

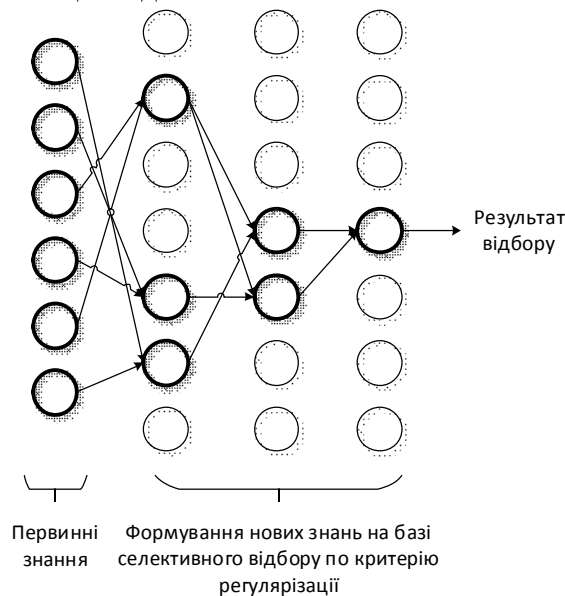


Рис. 1. Процес селекції знань

Аналіз знань передбачає формування стратегій використання образів прикладними системами у ході вирішення поставлених завдань із залученням експерта-аналітика (рис. 2).

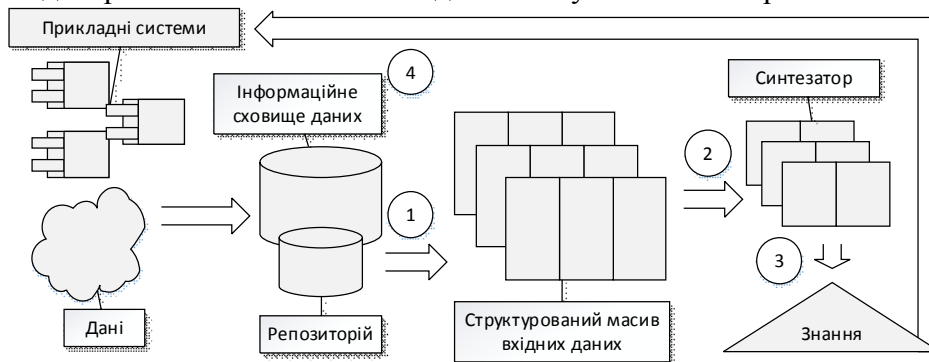


Рис. 2. Архітектура інтелектуальної системи аналізу даних

**Висновки та пропозиції.** Запропоновано новий підхід до формування баз знань інтелектуальних систем, що здатні до навчання й адаптації. Згідно з ним знання про об'єкт утворюються за допомогою ієрархічного поєднання образів, які у свою чергу формують поля знань із багатовимірних моделей за принципами неостаточності прийняття рішень, зовнішнього доповнення та масової селекції. Наступні дослідження будуть спрямовані на розроблення методів формування структури образів знань і, відповідно, структури бази знань.

**Список використаних джерел**

1. Глушков В. М. Введение в кибернетику / В. М. Глушков. – К. : Изд. АН УССР, 1964. – 324 с.
2. Искусственный интеллект : в 3 кн. Кн. 2. Модели и методы / под ред. Д. А. Поспелова. – М. : Радио и связь, 1990. – 304 с.

3. *Tuthill G. S.* Knowledge Engineering / G. S. Tuthill. – TAB Books Inc., 1994. – 750 p.
4. *Adeli H.* Knowledge Engineering / H. Adeli. – New-York : McGraw-HillPublishing Company, 1994. – 914 p.
5. *Stefik M. J.* Introduction to Knowledge Systems / M. J. Stefik. – San Francisco, CA : Morgan Kaufmann, 1995. – 896 p.
6. *Минский М.* Фреймы и представление знаний / М. Минский. – М. : Энергия, 1979. – 150 с.
7. *Гаврилова Т. А.* Объектно-структурная методология концептуального анализа знаний и технология автоматизированного проектирования баз знаний / Т. А. Гаврилова // Труды междунар. конф. «Знания-Диалог-Решение 95». – Ялта, 1995. – Т. 1. – С. 1–9.
8. *Логический* подход к искусственному интеллекту: От классической логики к логическому программированию / [Тейз А., Грибомон П., Луи Ж. и др.] ; пер. с фр. – М. : Мир, 1990. – 429 с.
9. Модели представления знаний предметных областей диалоговых систем (обзор) // Техническая кибернетика. – 1991. – № 5. – С. 3–23.
10. *Sowa J. F.* Conceptual Graphs as a universal knowledge representation / J. F. Sowa. – In: Semantic Networks in Artificial Intelligence, Spec. Issue of An International Journal Computers & Mathematics with Applications. (ed. F. Lehmann). – Vol. 23. – Number 2–5, 1992. – Part 1. – P. 75–95.
11. *Guarino N.* Formal Ontology and Information Systems / N. Guarino ed // FOIS'98, 6–8 June 1998. – Trento, Italy : IOS Press, Amsterdam, 1998. – P. 3–15.
12. *Елисеев Э. Н.* Структура развития сложных систем / Э. Н. Елисеев. – Л. : Наука, 1983. – 264 с.
13. *Голуб С. В.* Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища / С. В. Голуб. – Черкаси : Вид-во ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2007. – 220 с.
14. *Джарратано Д.* Экспертные системы. Принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. – 4-е изд. – М. : Вильямс, 2007. – 1152 с.
15. *Гиг Дж.* Прикладная общая теория систем : в 2 кн. / Дж. Гиг. – М. : Мир, 1981. – 336 с.
16. *Wasson C.* System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices (Wiley Series in Systems Engineering and Management) / C. Wasson. – Wiley-Interscience, 2005. – 818 p.
17. *Шеннон К.* Математическая теория связи / К. Шеннон, У. Уивер. – М. : ИЛ, 1963. – 332 с.
18. *Осипов Г. С.* Приобретение знаний интеллектуальными системами / Г. С. Осипов. – М. : Наука, 1997. – 307 с.
19. *Нагель Э.* Теорема Геделя / Э. Нагель, Дж. Р. Ньюмен. – М. : Красанд, 2011. – 120 с.
20. *Ивахненко А. Г.* Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике / А. Г. Ивахненко. – К. : Техника, 1971. – 372 с.

**В.І. Зацерковний**, д-р техн. наук

Київський національний університет ім. Т. Шевченка, м. Київ, Україна

**В.І. Гур'єв**, канд. техн. наук

**В.В. Позній**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ОЦІНЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО КЛІМАТУ ТЕРИТОРІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОПОРТАЛІВ

**В.И. Зацерковный**, д-р техн. наук

Киевский национальный университет им. Т. Шевченко, г. Киев, Украина

**В.И. Гурьев**, канд. техн. наук

**В.В. Позний**, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОГО КЛИМАТА ТЕРРИТОРИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕОПОРТАЛОВ

**Vitalii Zatserkovnyi**, Doctor of Technical Sciences

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

**Volodymyr Huriev**, PhD in Technical Sciences

**Vasyl Pozniy**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### EVALUATION OF THE INVESTMENT CLIMATE OF THE TERRITORIES BY GEOPORTALS

*Описано доцільність розроблення геоінформаційної системи (ГІС) інвестиційного порталу. Зроблено аналіз структури і властивостей ГІС. Розглянуто підходи щодо поліпшення інвестиційної привабливості регіону. Проаналізовано процес вибору оптимальної моделі ГІС.*

**Ключові слова:** геопортал, геоінформаційна система (ГІС), інвестиції, Україна, економіка, територія, бізнес.

*Описана целесообразность разработки геоинформационной системы (ГИС) инвестиционного портала. Сделан анализ структуры и свойств ГИС. Рассмотрены подходы по улучшению инвестиционной привлекательности региона. Проанализирован процесс выбора оптимальной модели ГИС.*

**Ключевые слова:** геопортал, геоинформационная система (ГИС), инвестиции, Украина, экономика, территория, бизнес.

*The feasibility of developing a geographic information system (GIS) has been described in the article. It also analyzes the structure and properties of the GIS. Approaches to the improvement of the region's investment attractiveness have been regarded. The process of selecting the optimal variant model of GIS.*

**Key words:** geportal, geographic information system (GIS), investment, Ukraine, economy, territory, business.

**Вступ.** Сьогодні в Україні спостерігається значне техніко-технологічне відставання від країн з розвинутою ринковою економікою, яке, на жаль, не скорочується. Як свідчить глобальний індекс інвестиційної привабливості BDO International Business Compass (IBC), складений Гамбурзьким інститутом світової економіки (HWWI) спільно з німецькою аудиторською компанією BDO AG, у 2014 р. Україна посідала 89-у позицію серед 174 країн світу. Україна також знаходиться на низьких позиціях і за іншими економічними показниками (рис. 1). Тому актуальним завданням є досягнення економічного зростання випереджаючими темпами в порівнянні з розвиненими країнами.

Для України, як держави, яка переживає період становлення економічної системи та виходу з кризи, питання залучення іноземних інвестицій є надзвичайно актуальними і важливими, оскільки вони впливають на економічний і соціальний розвиток країни.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

<p><b>Індекс економічної свободи</b></p> <p>1 Сінгапур 2 Гонконг 3 Нова Зеландія</p> <p>.....</p> <p>111 Ліван <b>112 Україна + 25</b> 113 Папуа-Нова Гвінея .....</p> <p>189 Чад</p>	<p><b>Індекс легкості ведення бізнесу</b></p> <p>1 Швейцарія 2 Сінгапур 3 США</p> <p>.....</p> <p>75 Словенія <b>76 Україна - 5</b> 77 Хорватія .....</p> <p>144 Гвінея</p>	<p><b>Індекс конкурентоспроможності</b></p> <p>1 Гонконг 2 Сінгапур 3 Австралія</p> <p>.....</p> <p>154 Лесото <b>155 Україна + 3</b> 156 Гаїті .....</p> <p>178 КНДР</p>	<p><b>Глобальний інноваційний індекс</b></p> <p>1 Швейцарія 2 Великобританія 3 Швеція</p> <p>.....</p> <p>62 Бахрейн <b>63 Україна + 1</b> 64 Йорданія .....</p> <p>143 Судан</p>	<p><b>Індекс свободи преси</b></p> <p>1 Данія 2 Нова Зеландія 3 Фінляндія</p> <p>.....</p> <p>142 Уганда <b>143 Україна + 1</b> 144 Гаїті .....</p> <p>174 Сомалі</p>
<p><b>Індекс сприйняття корупції</b></p> <p>1 Норвегія 2 Австралія 3 Швейцарія</p> <p>.....</p> <p>82 Перу <b>83 Україна 0</b> 84 Гаїті .....</p> <p>187 Нігер</p>	<p><b>Індекс розвитку людського потенціалу</b></p> <p>1 Фінляндія 2 Нідерланди 3 Норвегія</p> <p>.....</p> <p>126 Колумбія <b>127 Україна - 1</b> 128 Афганістан .....</p> <p>180 Еритрея</p>	<p><b>Індекс глобалізації</b></p> <p>1 Ірландія 2 Бельгія 3 Нідерланди</p> <p>.....</p> <p>43 Йорданія <b>44 Україна + 3</b> 45 Гаїті .....</p> <p>206 Сан-Марино</p>	<p><b>Індекс володіння англійською мовою</b></p> <p>1 Данія 2 Нідерланди 3 Швеція</p> <p>.....</p> <p>43 Коста-Рика <b>44 Україна - 17</b> 45 Гаїті .....</p> <p>63 Ірак</p>	

Рис. 1. Україна у світових рейтингах 2014 р. (За даними Heritage Foundation, Світового банку, Всесвітнього економічного форуму, Національної асоціації виробників, організації «Репортери без кордонів», Transparency International, програм розвитку ООН та EF Education First)

У 2014 році українська економіка зазнала значних втрат (рис. 2). З одного боку, причина такого падіння полягає у веденні бойових дій на Сході України. З іншого – у внутрішній політиці уряду.

В умовах зростаючого ринку не треба покладатися на бюджетне фінансування, а потрібно активно залучати інвесторів. А хто в цій конкурентній боротьбі за інвестиції програє, той ризикує залишитися за межами інвестиційного процесу. У зв'язку з цим в Україні має бути створений не просто сприятливий, а конкурентоспроможний інвестиційний клімат.



Рис. 2. Економічні антирекорди України в 2014 р.

Економіка не ґрунтується на фундаментальних і прикладних дослідженнях, вона обмежена продажем природних ресурсів, застаріла, не виробляє нові знання. Значить, вона буде їх імпортувати, а сама буде тільки видобувати нафту, газ, вугілля, вирощувати пшеницю.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Однією з ключових проблем сучасного соціально-економічного розвитку України, що потребує якнайшвидшого вирішення, є зменшення диспропорцій соціально-економічного розвитку регіонів, підвищення їх конкурентоспроможності та інвестиційно-інноваційної активності. Між регіонами йде конкуренція за інвестиції. Тому більш конкурентоспроможними з погляду залучення інвестицій будуть ті регіони, які зможуть надати інвесторові більше корисної інформації та створити найсприятливіші умови ведення бізнесу.

Серед усього різноманіття інформаційних технологій тільки геоінформаційні системи (ГІС) здатні надати більше корисної інформації і бути ефективним засобом для прийняття ефективних управлінських рішень [3].

Забезпечення стабільного розвитку економіки країни передбачає підвищення ефективності використання її природно-ресурсного, трудового і виробничого потенціалу.

Останніми роками різними авторами все більш наполегливо впроваджується ідея необхідності формування та реалізації в Україні стратегії інноваційного розвитку. Має місце: значна кількість публікацій як у науковому середовищі, так і в суспільному пресі, створення відповідних інноваційних фондів, ухвалення різних документів на неординарних рівнях.

**Аналіз останніх наукових досліджень.** Проблеми розвитку інвестиційної діяльності присвячені наукові праці багатьох учених, таких як: А.Є. Ачкасов, І.А. Бланк, П.Т. Бубенко, Г.С. Волінський, М.С. Герасимчук, Г.В. Ковалевський, А.В. Крушевський, І. Крупка, Р.Р. Ларіна, І.В. Лисий, Т.В. Момот, М.М. Недашковський, А.А. Пересада, В.А. Поколенко, С.В. Покропивний, Я.А. Рекітар, І.В. Сергієнко, Г.В. Стадник, А.М. Тищенко, В.І. Торкатюк, Л.С. Шевченка, А.Д. Шеремет і багато інших.

Дослідженню проблеми розвитку регіонів України, формування ефективної політики регіонального економічного розвитку присвячені наукові праці Б.М. Данилишина, В.О. Онищенко, В.М. Гейця, В.П. Дубіщева, О.І. Амоши, В.Г. Федоренка, Л.І. Яковенко, М.П. Бутка, З.С. Варналія, А.М. Асаула, С.В. Захаріна та ін.

Аналіз опублікованих наукових робіт показує, що незважаючи на значні досягнення вчених у висвітленні поставленої проблеми, існує необхідність продовження досліджень у цьому напрямку, враховуючи актуальність теми і недостатнє розроблення окремих принципово важливих її елементів.

**Виклад основного матеріалу.** Стратегія підвищення інвестиційної привабливості покликана забезпечити зростання рівня життя й добробуту громадян і є однією з найважливіших завдань органів державної влади та місцевого самоврядування.

Враховуючи динамічність сучасних інвестиційних процесів, активне використання новітніх інформаційно-комунікаційних технологій є важливою складовою розвитку інвестиційного комплексу, особливо з погляду забезпечення ефективної взаємодії учасників інвестиційного процесу та залучення широкої громадськості українських та зарубіжних підприємств, установ та організацій у процес інвестиційної та інноваційної діяльності в Україні. Враховуючи це, перед потенційними інвесторами постає проблема формування відповідної інформаційної бази, необхідної у процесі прийняття інвестиційних рішень. З іншого боку, органи державної влади та територіального управління також потребують достовірної інформації про інвестиційні процеси як на державному рівні, так і на рівні конкретної області, району чи міста.

Інвесторам же, у свою чергу, потрібна вичерпна інформація про землю (регіон, район, населений пункт), інфраструктуру, бо перед тим як вкласти капітал, їм необхідно оцінити привабливість території – з географічних, соціальних, політичних і деяких інших позицій, а для цього необхідно зіставити між собою безліч даних, які часто не мають очевидних зв'язків.

Для цього потрібно інформаційне джерело (інформаційний портал, геоінформаційна система, геопортал тощо), яке б давало можливість здійснювати геопросторовий та геосистемний аналіз територій. Це б дозволило потенційним інвесторам як вітчизняним, так і іноземним, не виходячи з власного кабінету оцінювати інвестиційну привабливість територій, які їх зацікавили, і приймати рішення щодо інвестування капіталу.

Перший і найважливіший блок функцій геопорталів – надання користувачу потрібної просторової інформації. Не менш важливою розглядається можливість здійснення оверлею різних шарів, одержаних з різних серверів (наприклад, карти з відкритого джерела OpenStreetMap, космічні знімки зі спеціалізованого ресурсу і публічної кадастрової карти). Серверів, які надають доступ до карт, тематичних ресурсів, може бути дуже багато. Тому, по-перше, необхідно розробити бази метаданих для під'єднання до них, реєстрації власних наборів просторових даних і їх пошуку, а по-друге, інтегрувати протоколи WMS, WFS, WCS тощо.

Другий блок функцій – введення і редагування користувачами власних тематичних шарів і об'єктів з можливостями текстового опису й прикріплення фотографій та інших зовнішніх файлів.

У геопорталі повинна бути забезпечена робота з простими точковими, лінійними і полігональними об'єктами з підтримкою міжшарової топологічної коректності даних та завантаження треків з навігаційних приладів. Основна мета – завдання сфери інтересу або розміщення свого набору об'єктів на карті (заправки, мережі магазинів, переробних підприємств, відділень банків тощо).

Третій блок функцій – пошук і просторовий аналіз за різними параметрами (за адресами, найменуванням, іншим критерієм, просторовий пошук усередині заданої території, пошук найближчих об'єктів, обчислення площ, відстаней, периметрів, найкоротшого шляху тощо). Актуальним також є підтримка стандартних для ГІС запитів: «що це?» (видача інформації по об'єкту на карті) і «де це?» (позиціонування на карті за об'єктом з певного списку).

Четвертий блок функцій – інтеграція з іншими інформаційними ресурсами в середовищі Інтернет (забезпечення вбудовування фрагментів карт в інші сайти, часом зі зв'язком з геоприв'язаними форумами (повідомлення з обговоренням і коментарями), деякими соціальними мережами).

Все розмаїття інноваційних проектів можна розділити на 3 основні класи:

1) відбувається значне зростання внеску інноваційних процесів у світовий валовий продукт. Особливо це характерно для розвинених країн;

2) відчутна віддача буде забезпечена, якщо інноваційна діяльність не обмежується одним-двома виробами, одним-двома напрямками;

3) основним носієм і виразом інновацій, основним середовищем та механізмом вироблення й використання інновацій є нова економіка, економіка, заснована на знаннях (knowledge-based economy). Результатом діяльності такої економіки (і одночасно – її товаром) є знання, особливо – нові знання.

Для України дуже актуальним є перехід на стратегії інноваційного розвитку, на будівництво своєї економіки знань.

Інформаційне забезпечення інвестиційної діяльності вимагає створення інвестиційного порталу. Метою створення офіційного інвестиційного порталу, затребуваного як вітчизняними, так і закордонними інвесторами, є, насамперед, максимальне інформування потенційного інвестора про умови відкриття та ведення бізнесу в Україні, надання вичерпної інформації про інвестиційні процеси, що відбуваються на ринку регіону та потенціал території регіону тощо (рис. 3).



Рис. 3. Завдання інвестиційного порталу

Необхідно володіти достовірними відомостями про власників фірми-інвестора і його керівництво, історії діяльності підприємства, структурі управління виробництвом і збутом, наявності та рівень самостійності структурних підрозділів як у регіонах країни, так і за її межами тощо. Щоб уникнути ризику, необхідно використовувати інформацію, яку містять такі джерела:

- фондові біржі, члени яких у силу специфіки діяльності володіють інформацією про ділові відносини і зв'язках підприємств, їх фінансове становище та репутації;
- торгово-промислові палати країн або окремих регіонів, які ведуть інформаційно-комерційну діяльність, підключаються до різних інформаційних мереж;
- закордонні кредитні бюро, які здійснюють підготовку конкретної інформації про діяльність підприємницьких структур. Провідними кредитними бюро у світі є: у Франції – ДАФСА, Австрії – «Кредітшутцфербанд», Італії – «Космос», Великобританії – «Дейтастрім», США – «Дан енд Бредстріт» [1].

Необхідно вивчити і проаналізувати показники, що характеризують діяльність потенційної фірми-інвестора.

Показники, які можуть бути корисними для потенційного реципієнта інвестицій, можна розділити на такі групи:

- показники, що характеризують інвестиційний потенціал господарства;
- показники ефективності діяльності фірми – як абсолютні, так і відносні, що підтверджені аудиторськими висновками;
- показники фінансово-економічної якості проекту;
- неформальні показники ділового статусу інвестора;

- показники обґрунтованості інвестування;
- показники розподілу ризику (рис. 4).

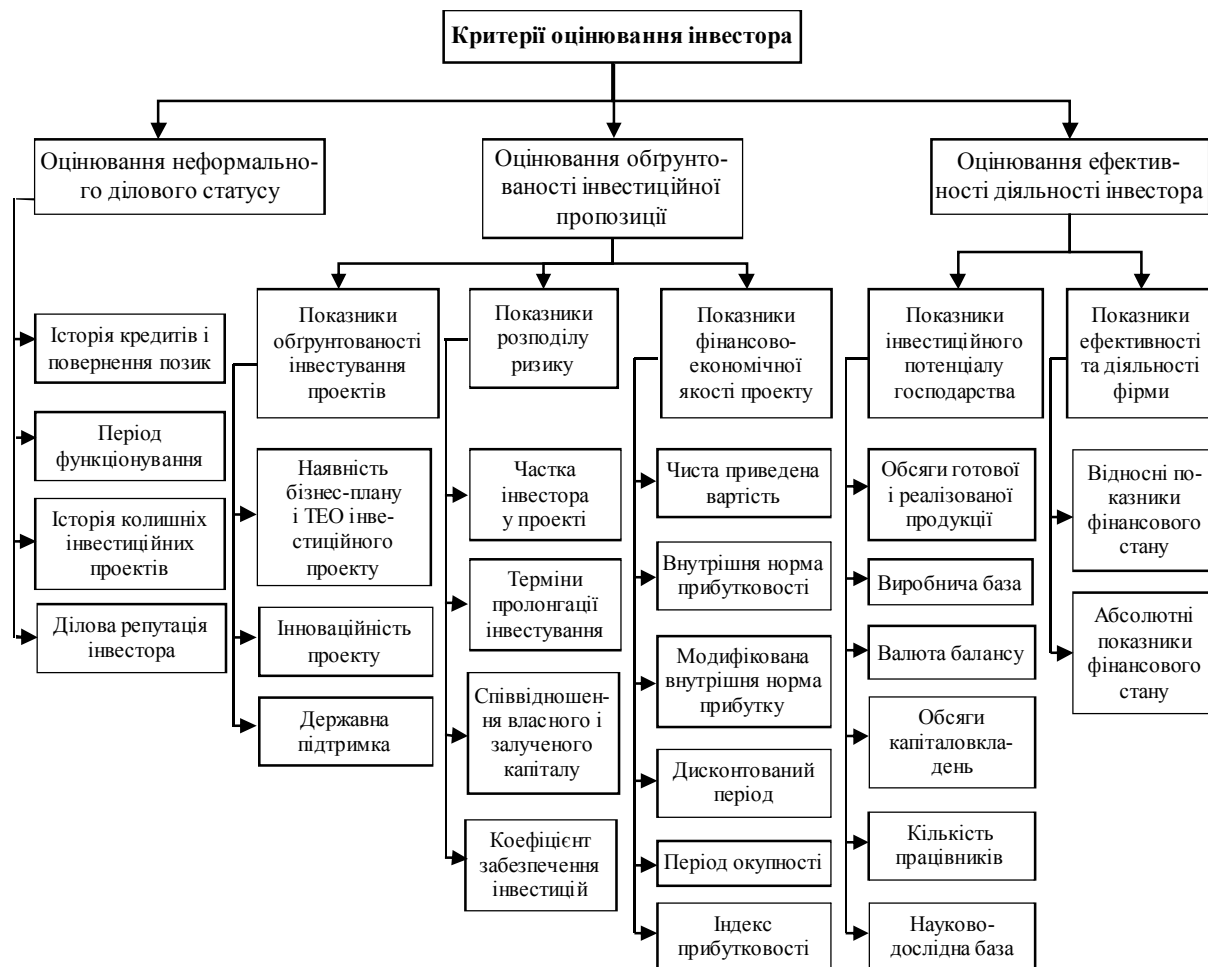


Рис. 4. Критерії оцінювання потенційного інвестора реципієнтом інвестицій

Однак реципієнтам, які планують свій бізнес з участю капіталу вітчизняних або закордонних інвесторів, також необхідно мати уявлення про наміри потенційного інвестора, його діяльність, що у свою чергу може суттєво вплинути на результати прийняття інвестиційних рішень у майбутньому.

ГІС інвестора – це професійний інформаційно-аналітичний ресурс щодо залучення інвестицій у регіон, який дозволяє інтегрувати дані безлічі державних установ (з нерухомості, землі, соціально-економічний та екологічний стан, інвестицій тощо) та візуалізувати їх в одному місці, що дозволить потенційним інвесторам визначати найбільш привабливі об'єкти для інвестицій.

Метою створення ГІС інвестора є надання якісної систематизованої інформації по ринку нерухомості і землі, створенню інформаційного поля регіонального ринку, залучення коштів вітчизняних та закордонних інвесторів.

Проект, орієнтований на операторів і учасників ринків нерухомості, будівництва, фінансової та інвестиційної діяльності, торгівлі й виробництва, підприємства та підприємців, що розвивають бізнес у регіонах, і ґрунтується на професійному підході учасників, відкритості обсягу матеріалів, які збираються з різних джерел: адміністрації регіону, будівельних, інвестиційних, консалтингових і керуючих компаній; власників, менеджерів та агентів з нерухомості.

Проект передбачає використання однієї з основних переваг ГІС – поєднання графічного зображення інвестиційних об'єктів (об'єктів, виставлених на аукціон, які підго-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

товлені до аукціону, і результатами торгів) і семантичної інформації, пов'язаної з ними. Шари ГІС умовно розбиті на чотири групи:

- загальна інформація про регіон, його адміністративний поділ на райони, міста, селища міського типу, села, чисельність населення, забруднення ґрунтів, повітря, водних об'єктів, природоохоронні території тощо;
- «містобудівна інформація», яка містить шари, що дозволяють спрогнозувати розвиток території на період дії Генерального плану розвитку регіону, будівельні квартали, земельні ділянки, кадастрові квартали;
- «об'єкти інвестицій», що включають регулярно оновлювані дані про об'єкти інвестицій (муніципальні торги та аукціони, проекти, пропонувані до реалізації, вільні індустриальні майданчики, території підприємницької активності, забудовані території, будівлі тощо);
- «інфраструктура», що містить шари інженерної, транспортної та соціальної інфраструктури, які дозволяють здійснювати комплексний аналіз об'єктів інвестицій і території.

Кінцевим результатом створення інвестиційного порталу буде створення інтегрованої інформаційної системи, яка буде відрізняти певні переваги, а саме:

- інвестиційний портал, ядром якого є ГІС, інтегрує різномірні дані, що надходять з галузевих структур, структурних підрозділів адміністрації регіону та підвідомчих їй муніципальних установ, що беруть участь в інвестиційному проекті регіону, що дозволить інвесторам використовувати офіційні та актуальні дані;
- потенційні інвестори отримають можливість планувати свою діяльність з урахуванням планів розвитку територій регіону (муніципалітету);
- доступність офіційної інформації в режимі он-лайн істотно сприяє зниженню адміністративних бар'єрів;
- безкоштовне отримання інформації, що розміщується на інвестиційному порталі для користувачів.

Як приклад, на рис. 5 наведено фрагменти інвестиційного паспорта Чернігівської області.

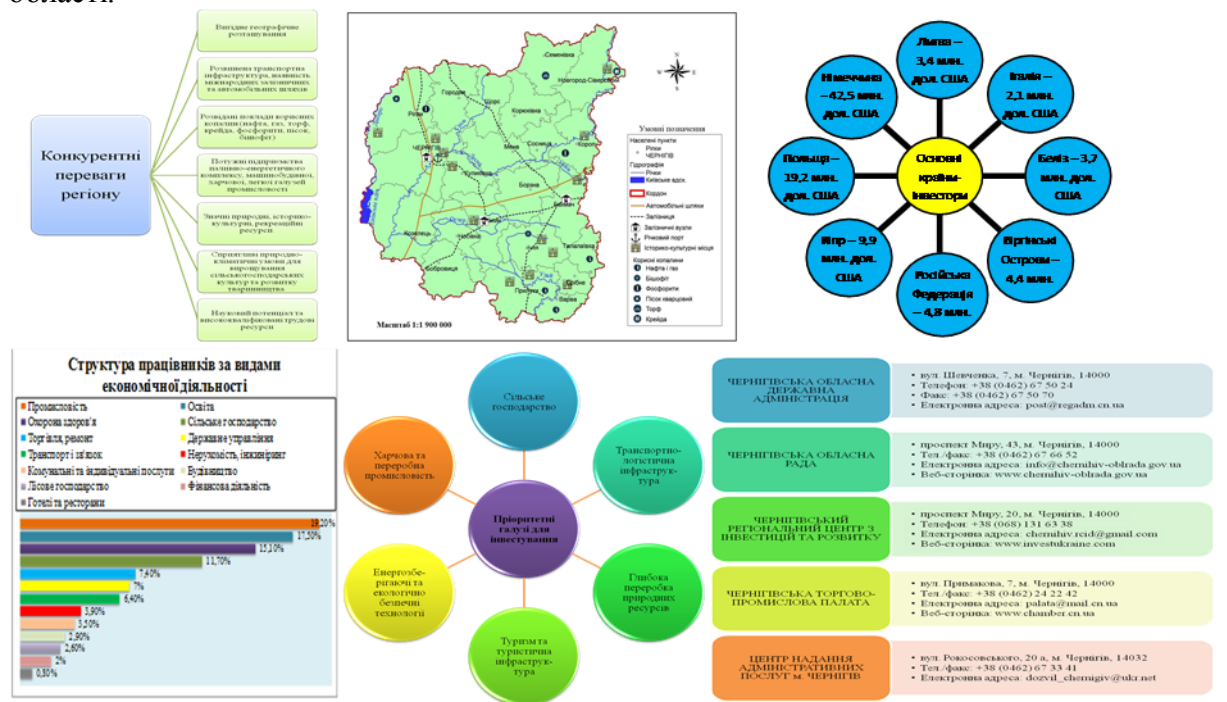


Рис. 5. Фрагменти інвестиційного паспорта для геопорталу

Конкретизуючи зміст регіональної інвестиційної політики, можна сформулювати такі основні напрямки державної інвестиційної політики:

- розвиток інвестиційного потенціалу;
- створення сприятливого інвестиційного клімату;
- підвищення інвестиційної привабливості регіонів.

У ролі елементів, що складають ці напрямки, є:

- підвищення ефективності використання наявних економічних ресурсів;
- стимулювання розвитку виробництва і відповідно збільшення валового регіонального продукту регіону;
- стимулювання інноваційної діяльності;
- побудова раціональної моделі використання наявного потенціалу регіону;
- активізація участі України в загальносвітових економічних і соціальних процесах з метою створення позитивного світового іміджу держави.

**Висновки.** Сьогодні основною метою інвестиційної політики адміністрації територій є забезпечення економічного зростання за рахунок залучення інвестицій в ефективні і конкурентоспроможні екологічно безпечні виробництва та види діяльності, здатні забезпечити зростання виробництва продукції, створення і збереження робочих місць, розширення бази оподаткування, а також стимулювання інноваційних розробок.

Результати впровадження системи дозволяють стверджувати, що за наявності регіональної інфраструктури просторових даних, управління територіальними утвореннями й розвиток їх економіки матимуть новий якісний рівень, основою цього є створення і розвиток регіональної інформаційної інфраструктури, яка забезпечує:

- якісну міжвідомчу взаємодію;
- підвищення інвестиційної привабливості регіону за рахунок забезпечення доступу бізнесу, міжнародного співтовариства і громадян до повної та актуальної інформації про комплексний розвиток території регіону;
- стимулювання розвитку різних видів підприємництва завдяки наданню прикладних електронних сервісів підприємницьким структурам регіону (сільське господарство, торгівля, рекреація тощо);
- створення цільових систем моніторингу та управління ключовими галузями економіки та територіями регіону;
- динамічну координацію дій за рахунок сучасних засобів зв'язку і програмних засобів;
- аналіз альтернативних рішень.

#### Список використаних джерел

1. *Бистряков І. К.* Капіталізація земельних відносин в Україні в контексті зміни уявлень про управління господарством / І. К. Бистряков, О. І. Олексюк // Стратегія економічного розвитку України. – 2002. – Вип. 5 (12). – С. 19–25.
2. *Волков С. М.* Основи землеволодіння та землекористування / С. М. Волков, В. М. Хлистунов, В. Х. Улюкаєв. – М. : Колос, 1992. – 144 с.
3. *ГІС і бази даних* / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с.
4. *Дорогунцов С. І.* Оцінка земельно-ресурсного потенціалу України та проблеми забезпечення його ефективного використання / С. І. Дорогунцов, А. С. Новоторов, Т. С. Ніколаєнко. – М. : РВПС України НАНУ, 1999. – 82 с.
5. *Шумпетер Й.* Теорія економічного розвитку / Й. Шумпетер. – М. : Прогрес, 2008. – 401 с.
6. *World Investment Report 2014* – Unctad [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2014\\_en.pdf](http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2014_en.pdf).

**В.В. Казимир**, д-р техн. наук

**О.Ю. Герасименко**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ DATA MINING ДЛЯ АНАЛІЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

**В.В. Казимир**, д-р техн. наук

**О.Ю. Герасименко**, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING ДЛЯ АНАЛИЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Volodymyr Kazymyr**, Doctor of Technical Sciences

**Oksana Herasymenko**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### USING DATA MINING TECHNIQUES FOR METEOROLOGICAL FIGURES ANALYSIS

*Розглянуто підходи у використанні методів Data Mining (DM) для оброблення та аналізу метеорологічних даних. Коротко описано технологію Knowledge Discovery in Databases (KDD) та представлено опис методів DM як одного з етапів KDD. Наведено приклад короткострокового прогнозування температури повітря для м. Чернігова з використанням нейронних мереж (вхідними даними були дані метеостанції м. Чернігова за 2013–2015 роки).*

**Ключові слова:** Knowledge Discovery in Databases, Data Mining, нейронні мережі, багатошаровий перцептрон, прогноз метеорологічних показників.

*Рассмотрены подходы использования методов Data Mining (DM) для обработки и анализа метеорологических данных. Кратко описано технологию Knowledge Discovery in Databases (KDD) и выполнено описание методов Data Mining как одного из этапов KDD. Приведен пример краткосрочного прогноза температуры воздуха для г. Чернигова с использованием нейросетей (входящими данными были данные метеостанции г. Чернигова за 2013–2015 годы).*

**Ключевые слова:** Knowledge Discovery in Databases, Data Mining, нейронные сети, многослойный перцептрон, прогноз метеорологических показателей.

*This article describes several approaches to using Data Mining techniques for processing and analysis of the meteorological data. The Process of Knowledge Discovery in Databases (KDD) and some method of Data Mining (DM), one of the KDD's step, are briefly described in the article. As an example of using Data Mining techniques for meteorological figures analysis a temperature forecasting by neural networks is performed in this article (as input data we used meteorological figures from Chernihiv weather station for 2013-2015 years).*

**Key words:** Knowledge Discovery in Databases, Data Mining, neural networks, multilayer perceptron, meteorological figures forecasting.

**Постановка проблеми.** Об'єм накопичених даних метеорологічних спостережень з кожним роком збільшується. Це створює умови для формування метеопрогнозів, ґрунтуючись тільки на цих даних, наприклад, за допомогою методів Data Mining (DM). Отримані в результаті аналізу метеоданих знання можуть бути корисними як для розуміння тенденцій зміни клімату, так і для тих сфер діяльності людини, які залежать від погодних умов, включаючи короткострокові прогнози. Використання методів Data Mining дозволяє виявити певні закономірності, характерні для тієї чи іншої території або проміжку часу. Наприклад, у [3] застосовується алгоритм DBSCAN для визначення регіонів Туреччини, подібних за своїми температурними характеристиками.

**Мета статті.** Метою статті є дослідження можливостей технології Knowledge Discovery in Databases (KDD) та методів DM, як одного з етапів KDD, для формування короткострокових прогнозів на основі аналізу метеопоказників за попередні тривалі періоди.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Оброблення та аналіз метеорологічних даних з використанням Data Mining здійснювалися багатьма дослідниками. До основних задач, які вирішувалися із застосуванням DM, відносяться: прогнозування метеорологічних

показників; виявлення закономірностей, характерних для певної території та/або проміжку часу, прогнозування екстремальних погодних явищ.

Це продемонстровано в деяких роботах закордонних авторів. Так, у [5] розглядається побудова та аналізується використання нейромережі для погодинного прогнозу швидкості вітру в м. Фару (Португалія). Для аналізу було взято дані зі швидкості вітру за два роки. За результатами досліджень найкращі результати прогнозування продемонстрував багатошаровий перцептрон (три шари по 14-15-1 нейронів відповідно) з прямим зв'язком. Вхідними даними для нейромережі були лише значення швидкості вітру.

У [9] представлено прогнозування температури повітря також із використанням нейромереж, причому дані було розбито по сезонах і для кожного сезону будувалась окрема нейромережа. Вхідними даними були не лише значення температури повітря, але й певні інші показники.

Прогнозування максимальної, мінімальної та середньої добових температур повітря на рік з використанням різних методів ДМ виконано у [10]. Застосовувалися такі алгоритми, як класична лінійна регресія, M5, M5rules, IB3, а також адитивна регресія та нейронні мережі. Крім того, у цій роботі показано, що для отримання прогнозу задовільної якості достатньо даних за два попередні роки.

У [12] використано нейронні мережі різної конфігурації та два ансамблі нейромереж для погодинного прогнозу на добу температури повітря, швидкості вітру і вологості повітря. Найкращий результат був отриманий із застосуванням рекурентної нейронної мережі Елмана, а серед ансамблів нейронних мереж кращий прогноз показав ансамбль, сформований за принципом «winner-take-all».

Для прогнозування екстремальних погодних явищ у дослідженнях [2; 12; 18] використовувалися різноманітні методи ДМ, оскільки прогнозування різних явищ вимагає неоднакових вхідних даних та підходів до проведення аналізу.

**Технологія Knowledge Discovery in Databases (KDD).** Ця технологія почала активно розвиватись на початку 1990-х років, що було зумовлено такими факторами:

- збільшення місткості накопичувачів даних та зменшення їх вартості, що сприяло стрімкому зростанню об'ємів накопичених «сирих» даних. Під «сирими» даними розуміють різноманітні та необроблені дані;
- прогрес у сфері створення комп'ютерної техніки, що сприяло підвищенню обчислювальної потужності техніки і загальній комп'ютеризації виробництва та бізнес-процесів;
- стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій;
- впровадження та широке використання Інтернету в усіх сферах людської діяльності.

KDD може проводитись за двома напрямками: перевірка гіпотези користувача (verification) або видобуток нових знань (discovery), який, у свою чергу, може мати на меті прогнозування (prediction) або опис (description) об'єкта дослідження.

KDD – це нетривіальний процес виявлення значущих, раніше невідомих, потенційно корисних і в кінцевому результаті зрозумілих паттернів у даних; під даними слід розуміти множину фактів, а паттерн – це описаний певною мовою вираз для позначення підмножини даних або моделі, яка може бути використана до підмножини даних [4]. KDD дозволяє виявити в наборі фактів нові корисні багатоаспектні залежності між даними. Цей процес є ітеративним та інтерактивним і складається з деяких етапів (рис. 1).



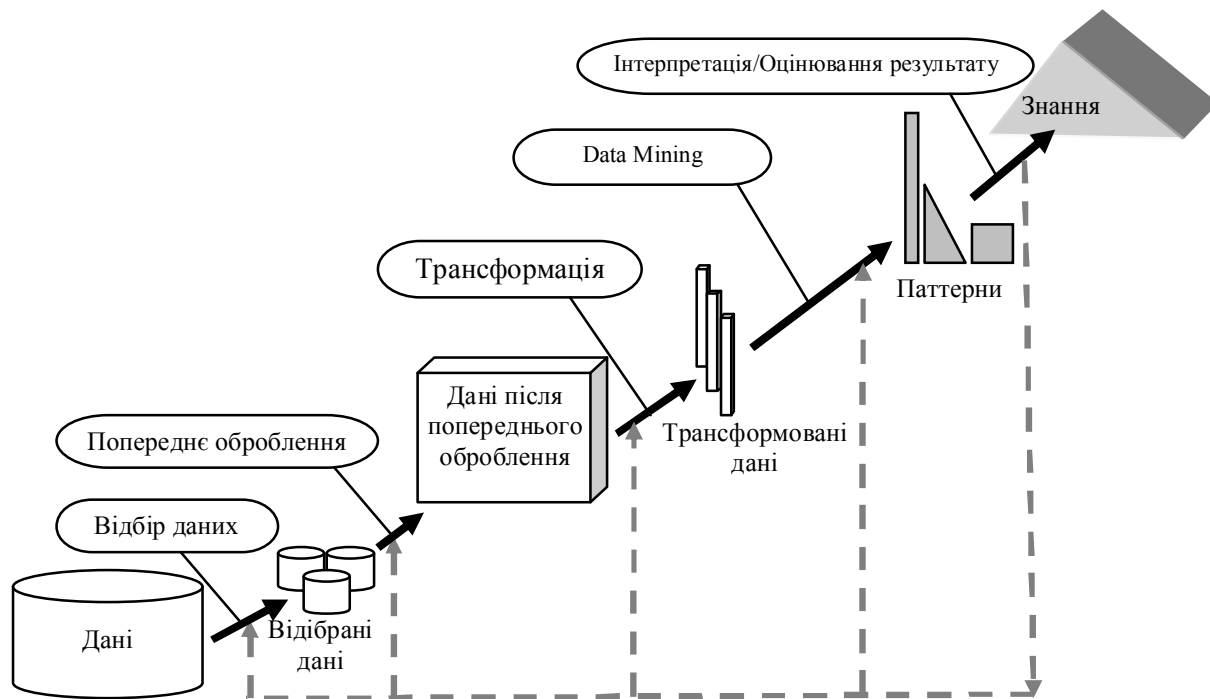


Рис. 1. Схематичне зображення процесу KDD [4]

Результатом процесу KDD є знання, а DM - це один з етапів процесу KDD, який передбачає використання алгоритмів аналізу даних та виявлення інформації, з прийнятними обмеженнями обчислювальної ефективності, для синтезу специфічного переліку паттернів (або моделей) із даних [4]. Іншими словами, DM – це сукупність алгоритмів і методів, призначених для виявлення та представлення у зрозумілому для аналітика вигляді відношень між даними чи закономірностей у даних, але поряд з цим не проводиться оцінювання значущості та корисності отриманих результатів. Таким чином, набір паттернів, отриманий у результаті етапу DM, не є результатом процесу KDD загалом, оскільки отриманню знань передують інтерпретація паттернів, оцінювання їх якості та придатності.

**Data Mining** у своєму арсеналі має значну кількість методів і алгоритмів, оскільки ця технологія виникла на стику кількох галузей науки, зокрема штучного інтелекту, машинного навчання, розпізнавання образів, статистики, бази даних, візуалізації даних, високопродуктивного обчислення та ін. Для зручності алгоритми та методи DM краще розглядати залежно від задач, для вирішення яких вони застосовуються. Перелік задач Data Mining у різних джерелах може дещо різнитися, тому розглянемо ті задачі, які більшість дослідників вважають основними. До них належать:

- класифікація (classification) та регресійний аналіз (regression);
- кластеризація (clustering);
- пошук частих моделей (frequent pattern mining).

**Класифікація та регресія.** Під поняттям «класифікація», як правило, мають на увазі розподіл елементів даних в один з декількох наперед визначених класів елементів. У [1] задача класифікації представлена більш узагальнено й аналогічно задачі регресії, тобто як така, метою якої є «визначення значення залежної змінної деякого об'єкта на основі значень інших змінних, які характеризують цей об'єкт» [1, с. 102]. З метою класифікації можуть бути використані неоднакові алгоритми, що використовують різні способи вирішення задачі. У [20] розглядаються такі підходи класифікації: імовірнісна класифікація (probabilistic classification), класифікація з використанням дерев рішень (decision

tree classifier), лінійний дискримінантний аналіз (linear discriminant analysis), метод опорних векторів (support vector machines). Результати класифікації (чи регресії) можуть бути представлені у вигляді класифікаційних правил, дерев рішень, математичних функцій [1].

Класифікаційні правила складаються з двох частин – умови та висновку. В умові виконується перевірка значень однієї чи декількох незалежних змінних, а у висновку, відповідно, вказується значення залежної (прогнозна) змінної або розподіл її імовірності за класами. До переваг класифікаційних правил можна віднести простоту сприйняття людиною, адже вони можуть бути записані на природній для людини мові, а також їх відносну незалежність – можливість додавати у набір правил нові правила без зміни вже наявних. Суттєвим недоліком класифікаційних правил вважається можлива суперечливість їх одне одному, коли характеристики якогось об'єкта задовольняють умови кількох правил із різними висновками. Для побудови класифікаційних правил можуть бути використані алгоритми 1R-алгоритм [1], Naïve Bayes [1; 6; 11; 14; 20] та інші.

Представлення класифікаційних правил у вигляді деревовидної послідовної структури є деревом рішень. Кожен вузол такого дерева містить перевірку деякої незалежної змінної (можуть також порівнюватись незалежні змінні між собою, обчислюватись певна функція від однієї чи кількох незалежних змінних), а кожен лист дерева є значенням залежної змінної, тобто класом. Пройшовши від кореня дерева до листа через вузли з умовами, які задовольняють незалежні змінні об'єкта класифікації, визначається клас, до якого належить об'єкт. Важливо зазначити, що маючи дерево рішень, його можна записати у вигляді класифікаційних правил, але зворотне перетворення можливе не завжди. Існує багато алгоритмів побудови дерев рішень, зокрема ID3 [1; 14; 16], C4.5 [1; 11; 15], CART [11], CHAID [17], SPRINT [14] та інші. Основними характеристиками алгоритмів побудови дерев рішень є вид розщеплення (бінарне чи множинне), критерій розщеплення, процедура скорочення гілок дерева, можливість оброблення пропущених значень. Вибір того чи іншого алгоритму залежить від багатьох факторів, тому жоден з алгоритмів не вважається найкращим.

До імовірнісної класифікації у [20] віднесено Байєсівську класифікацію та класифікацію методом k-найближчих сусідів. Байєсівська класифікація (повна) [20] використовує формулу Байєса для визначення класу, до якого належить об'єкт, як класу з максимальною апостеріорною вірогідністю. Обчислити апостеріорну імовірність, згідно з формулою Байєса, можна за апріорними ймовірностями та умовними за класом щільності. Проста Байєсівська класифікація (Naïve Bayes classifier) [1; 6; 11; 14; 20] ґрунтується на припущенні, що всі змінні статистично незалежні між собою, і покликана спростити обчислення в порівнянні з повною Байєсівською класифікацією.

Класифікація методом k-найближчих сусідів (k-nearest neighbors classifier, KNN classifier) [6; 7; 14; 16; 20] полягає у визначенні класу, до якого належить найбільше найближчих сусідів об'єкта, клас якого визначається, і вважається, що новий об'єкт також належить до цього класу. Найближчі сусіди визначаються, переважно, за допомогою обчислення відстані між точками у просторі за формулою Евкліда, хоча також можливі інші метрики. Число k позначає кількість найближчих сусідів, які використовуються для класифікації.

Лінійний дискримінантний аналіз [20] використовується для пошуку лінійної комбінації ознак, яка найкращим чином розділяє об'єкти на класи, або, іншими словами, полягає у знаходженні такого вектора, після проєкції на який об'єкти можна розподілити між класами з максимальною сепарацією (максимальним розділенням). Як критерій розділення під час аналізу використовується лінійний дискримінант Фішера. Також лінійний дискримінантний аналіз може виконуватись на базі функцій-ядер [20].

Метод опорних векторів (SVM) [1; 6; 11; 14; 20] ґрунтується на ідеї, що найкращим способом розмежування точок в  $m$ -мірному просторі є  $m-1$  гіперплощина, рівновіддалена від точок, які належать різним класам [1]. Основним завданням методу є пошук серед усіх можливих площин такої, яка рівновіддалена від крайніх об'єктів кожного з класів, і такі об'єкти називаються опорними векторами. Найкращим варіантом використання SVM класифікатора є той, коли простір між межами класів пустий. Проте також розроблені принципи застосування методу опорних векторів для класів, які перекриваються [20]. У разі неможливості лінійного розділення об'єктів класів може бути використаний метод опорних векторів на базі функцій-ядер [1; 20]. Перевагами методу вважаються [1]: теоретична і практична обґрунтованість; узагальнений підхід до розв'язку багатьох задач завдяки застосуванню різних функцій-ядер; сталі розв'язки, незалежні від локальних мінімумів; відсутня проблема «перенавчання» (overfitting); може використовуватись при будь-яких розмірностях. Недоліками методу опорних векторів є [1]: порівняно невисока продуктивність; відсутність рекомендацій щодо вибору параметрів та вибору ядра; побічні ефекти нелінійних перетворень; труднощі в інтерпретації результату; застосування для невеликої кількості векторів.

Також для класифікації можуть бути використані нейронні мережі, генетичні алгоритми, теорія наближених множин, теорія нечітких множин та інші.

Оцінити точність класифікації можна за допомогою так званої крос-перевірки (cross-validation) – процедури перевірки точності класифікації на даних із тестової множини. Якщо точність класифікації тестової множини приблизно однакова з точністю класифікації навчальної вибірки, то вважається, що отримана модель пройшла крос-перевірку. В [6] розглядаються способи покращення точності класифікації, а саме ансамблевий метод.

*Кластеризація.* На відміну від класифікації, де кількість класів задана наперед, кластеризація (кластерний аналіз) полягає в розподілі заданого набору об'єктів на групи схожих між собою об'єктів, які називаються кластерами. Кількість кластерів заздалегідь невідома, тому завдання кластерного аналізу – визначення кількості кластерів і віднесення кожного з об'єктів набору даних до одного (або декількох) кластера (кластерів). Отже, модель, отримана в результаті кластеризації, повинна описувати як безпосередньо кластери, так і належність об'єкта даних до одного (чи декількох) з цих кластерів.

Методи кластеризації поділяються на неієрархічні та ієрархічні, останні у свою чергу поділяються на агломеративні та дивізімні [1], у кожній з цих груп є безліч алгоритмів та підходів. Ієрархічні методи представляють результат у вигляді дерева, вкладених один в одного кластерів, що дає змогу найбільш повно представити структуру кластерів [1]. При ієрархічній кластеризації немає необхідності визначати кількість кластерів, тоді як неієрархічні методи в основному спрямовані на добір числа кластерів та визначення у процесі цього добору їх оптимальної кількості. Використовуючи різні методи кластеризації для тих самих даних, можна отримати різні результати, що вважається прийнятним. Під час вибору алгоритму кластеризації важливо знати сильні та слабкі сторони алгоритму, а також враховувати природу даних, які будуть оброблятися.

Розглянемо деякі алгоритми кластерного аналізу. Неієрархічна кластеризація ґрунтується на мінімізації певної цільової функції, яка визначає оптимальне розподілення об'єктів за кластерами. Класичним алгоритмом неієрархічної кластеризації є алгоритм  $k$ -середніх ( $k$ -means). Повний опис цього алгоритму можна знайти в [8], також він описується в [1; 6; 7; 11; 20]. Метою алгоритму є побудувати кластери таким чином, щоб їх середні якомога більше відрізнялись між собою. Кількість кластерів  $k$  задається до початку аналізу, тому насамперед необхідно мати гіпотезу про їх кількість. Якщо значення  $k$  неможливо спрогнозувати, то спочатку береться значення 2, а потім 3, 4, 5 і т. ін. З

набору даних довільним чином вибираються  $k$  точок, які вважаються центрами кластерів. Потім усі об'єкти розбиваються на  $k$  груп, кожна з яких концентрується навколо одного з центрів. Далі обчислюються нові центри кластерів і знову проводиться формування  $k$  груп. Цей процес повторюється до того часу, доки центри кластерів не перестануть змінюватись. Алгоритм  $k$ -середніх став базовим для інших неієрархічних алгоритмів кластеризації, наприклад, для алгоритму PAM (partitioning around medoids) [14]. Алгоритм  $k$ -середніх на базі функцій-ядер розглядається в [20]. У результаті узагальнення алгоритму  $k$ -середніх розроблено алгоритм Fuzzy C-Means, в якому кластери вважаються нечіткими множинами і належність кожного об'єкта набору даних до того чи іншого кластера визначається за критерієм максимуму належності до цього кластера [1]. Алгоритм Fuzzy C-Means шукає кластери сферичної форми, на його основі було розроблено алгоритм кластеризації за Гюстафсоном-Кесселем, який шукає кластери у формі еліпсоїдів. Як зазначено у [1], недоліком названих вище алгоритмів є те, що вони шукають кластери певної форми та ґрунтуються на аналізі відстані від точки до центра кластера, а не на аналізі взаємного розміщення точок.

Також серед методів неієрархічної кластеризації необхідно відзначити EM-алгоритм (Expectation-Maximization) [6; 11; 20], який припускає наявність для кожного кластера функції щільності розподілу імовірності з відповідними значеннями математичного очікування та дисперсії і завданням алгоритму є знайти параметри розподілів за принципом максимуму правдоподібності. Однією з найважливіших переваг цього методу є можливість масштабування (він дозволяє проводити оброблення великих масивів даних).

Крім того, до неієрархічних методів кластеризації належать методи, які ґрунтуються на аналізі концентрації (щільності розподілу) об'єктів (density-based clustering). Основний принцип такого підходу – об'єкти кластера, розміщені з певною щільністю, яка більша, ніж щільність об'єктів за межами кластера. Таку класифікацію реалізують алгоритми DBSCAN [6; 14; 20], DENCLUE [6; 14; 20], OPTICS [6; 14].

Ієрархічна кластеризація будує так звані дендрограми, тобто деревовидні структури з відображенням вкладеності кластерів. Під час побудови використовуються агломеративні методи (AGNES, Agglomerative Nesting) – виконують послідовне об'єднання менших кластерів у більші - або дивізімні методи (DIANA, Divisive Analysis) – розділяють більші кластери на менші. До перших можна віднести алгоритми CURE [14], ROCK [14], CAMELEON [6] та інші, а до других – BIRCH [6; 14], хоча слід зауважити, що в цих алгоритмах ієрархічні методи інтегровані з іншими. З основними принципами агломеративних та дивізімних методів можна ознайомитись у [6; 7; 14; 20].

Окремо слід зупинитися на оцінюванні результатів кластерного аналізу. В [1] розглядається поняття «якість кластеризації», на основі якої ґрунтується вибір оптимального рішення у процесі кластерного аналізу. Якість кластеризації – ступінь наближення результату кластеризації до ідеального рішення [1]. Для оцінювання якості кластеризації використовуються формальні параметри, оцінювання може проводитись за різними показниками. Основні показники, за якими може проводитись оцінювання якості кластеризації:

– показники чіткості. Вони набувають максимального значення при найбільш чіткому розділенні об'єктів даних. До них належать коефіцієнт розбиття, модифікований коефіцієнт розбиття, індекс чіткості;

– ентропійні критерії. Кластеризація вважається якіснішою тоді, коли значення ентропії найнижче. Це буде тоді, коли ступінь належності елементу даних до одного кластера найбільша, а до інших - найменша. До цих критеріїв належать ентропія розбиття, модифікована ентропія;

– інші показники, наприклад, показник компактності та ізолюваності, індекс ефективності і т. ін.

Для більш детального ознайомлення з критеріями оцінювання результатів кластерного аналізу можна звернутись до [20].

Використовуючи критерії оцінювання якості кластеризації, в алгоритмі кластерного аналізу можна закласти певний адаптивний механізм вибору оптимального розв'язку серед усіх можливих, що приводить до поняття адаптивної кластеризації. Це найбільш характерно для неієрархічних методів кластеризації, де важко спрогнозувати результуючу кількість кластерів.

Також для кластеризації застосовуються такі підходи, як графові алгоритми кластеризації, нейронні мережі, генетичні алгоритми, еволюційні алгоритми, спектральна кластеризація, кластеризація на базі дерев рішень та інші. На сьогодні важливою вимогою до алгоритмів кластеризації вважається можливість їх масштабування, тобто здатність алгоритмів обробляти надвеликі об'єми даних. Прикладами алгоритмів, здатних до масштабування (scalable), є CLARA [6], CLARANS [6], CLOPE [19], CURE, BIRCH та багато інших.

*Пошук частих моделей.* Частими паттернами можна назвати певні елементи чи групи елементів деякої предметної області, які часто повторюються, а часті моделі призначені для опису частих паттернів.

Аналіз частих наборів (frequent itemsets mining) ґрунтується на понятті транзакції - наборі даних із бази даних, тобто існує деяка множина елементів, із яких сформовано набори даних бази даних і ці набори є об'єктами аналізу. Найпростішим прикладом таких наборів є перелік товарів у чеку. Аналіз частих наборів для виявлення якихось закономірностей називають пошуком асоціативних правил. Основною метою побудови асоціативних правил є виявлення наборів даних, які часто повторюються серед великої кількості таких наборів. У результаті будуються так звані асоціативні правила виду

*якщо (умова), то (результат), де*

*умова* – набір об'єктів, з якими асоціюються об'єкти, які містяться в *результаті* правила.

Побудовані правила не обов'язково несуть корисну інформацію, тому застосовуються спеціальні величини для оцінювання їх корисності. Згідно з [1] до них належать:

- підтримка (support) – демонструє відсоток транзакцій, які підтримують це правило;
- достовірність (confidence) – відображає імовірність того, що наявність у транзакції одного набору об'єктів приводить до наявності іншого набору даних;
- покращення (improvement) – показує, чи корисніше застосування правила від простого відгадування.

Для пошуку асоціативних правил застосовується алгоритм Apriori [1; 11; 14; 20] та його різновиди AprioriTid [1; 6], MSAP [1], а також алгоритми Eclat [20], dEclat [20], FPGrowth [6; 20].

Опрацювання частих наборів великої кількості елементів пов'язане зі зростанням обчислювальної складності задачі. У [20] розглядається один з підходів до вирішення цієї проблеми, який полягає у формуванні так званого згущеного представлення частих наборів, яке узагальнює їх значущі характеристики.

Аналіз частих послідовностей (frequent sequences mining) має на меті виявлення залежностей між пов'язаними подіями у базі даних, тобто є певні послідовності подій і необхідно виявити закономірності у цих послідовностях. Отже, на відміну від частих наборів, у цьому випадку визначена певна послідовність елементів у наборі, критерієм упорядкування послідовності може бути, наприклад, час. Аналіз частих послідовностей допомагає виявити тенденції за часом або позицією розміщення елемента в наборі даних [20]. Для аналізу частих послідовностей існують відповідні алгоритми, наприклад, Spade [20], PrefixSpan [20] та інші.

У зв'язку зі значним поширенням різноманітних мереж у сучасному світі виникає все більше необхідності в аналізі даних, представлених у вигляді графів, наприклад, у вигляді графів зручно представляти блоги, соціальні мережі, Інтернет, біологічні системи та багато іншого. Метою такого аналізу є виявлення цікавих та корисних підграфів у одному великому графі або із бази даних графів. Основні принципи аналізу графів описано в [20].

Як і під час кластеризації, знайдені в результаті аналізу правила та часті моделі необхідно оцінити на предмет значущості. Вище було розглянуто деякі показники оцінювання асоціативних правил, більш детально показники оцінювання правил та частих моделей розглядаються в [20].

Крім названих вище задач DM, можна зазначити ще такі:

– виявлення змін і відхилень (change and deviation detection), метою якого є виявлення у наборі даних паттернів, не характерних для цього набору даних, або виявлення важливих змін у порівнянні з попереднім заміром параметрів;

– підведення підсумків (summarization) дозволяє знайти компактний опис підмножини даних із загального набору даних. Також часто використовується для реферування текстів;

– візуалізація або візуальний аналіз даних (visualization, visual mining), метою якого є зображення даних у певній візуальній формі, завдяки чому аналітик може зрозуміти їх суть і зробити певні висновки.

Таким чином, DM у своєму арсеналі має значну кількість методів, у тому числі нейронні мережі, генетичні алгоритми, еволюційні алгоритми, а вибір того чи іншого методу (або комплексу методів) залежить від задачі, яку необхідно вирішити.

**Аналіз метеорологічних даних засобами Data Mining.** Розглянемо прогнозування температури повітря з використанням нейромереж. Для дослідження виберемо дані метеорологічної станції, розміщеної в м. Чернігів (WMO\_ID=33135). Дані являють собою заміри через кожні три години різних метеорологічних показників, зокрема температура повітря, атмосферний тиск, відносна вологість повітря, напрям вітру, швидкість вітру та багато інших. Для аналізу було вибрано дані температури повітря за період з 01.01.2013 по 13.10.2015, загалом 8125 значень.

*Підготовка даних.* Слід зазначити, що для метеорологічних даних характерна низька якість даних, тому перш ніж почати аналіз, їх необхідно перевірити на якість та усунути виявлені недоліки, адже від цього може значно залежати отриманий результат. Тому спершу було оцінено якість вхідних даних. Викидів та екстремальних значень виявлено не було, пропусків виявлено 35, тобто 0,43 %. Оскільки метеорологічні дані являють собою часові ряди, то для заповнення пропусків вибрано метод інтерполювання.

*Прогнозування температури* здійснювалося з використанням нейронної мережі, а саме багатощарового перцептронну. В середовищі STATISTICA було вибрано стратегію «Автоматизована нейронна мережа» та побудовано 250 різних мереж і визначено 5 із найкращими характеристиками (у цьому випадку застосовувалась функція помилки «Сума квадратів»). Вхідними даними для нейромережі були 4 послідовні значення температури повітря; кількість нейронів проміжного шару варіювалася від 3 до 25; також змінювалася функція активації нейронів проміжного та вихідного шарів (доступними були функції: лінійна, логістична, гіперболічний тангенс, експонента); кількість вихідних значень – одна – температура повітря. Набір даних для навчання мережі становив 80 %, тестовий набір – 20 %. У результаті було вибрано 5 мереж, характеристики яких представлено на рис. 2.

N.	Net. name	Training perf.	Test perf.	Algorithm	Error f...	Hidden act.	Output act.
1	MLP 4-25-1	0,978944	0,978162	BFGS 230	SOS	Tanh	Exponential
2	MLP 4-17-1	0,978589	0,977694	BFGS 149	SOS	Tanh	Exponential
3	MLP 4-23-1	0,979114	0,978025	BFGS 268	SOS	Tanh	Exponential
4	MLP 4-16-1	0,978863	0,977797	BFGS 153	SOS	Tanh	Exponential
5	MLP 4-25-1	0,978473	0,977649	BFGS 233	SOS	Exponential	Exponential

Рис. 2. Параметри нейронних мереж, відібраних для прогнозування температури повітря

Відібрані нейронні мережі були використані для прогнозування температури повітря на 15 кроків вперед. Прогноз робився, починаючи з 8110 кроку, щоб отримані результати можна було порівняти з фактичним значенням температури повітря. На рис. 3 представлено графіки фактичної температури повітря T та прогнозованої температури повітря за даними кожної із нейронних мереж.

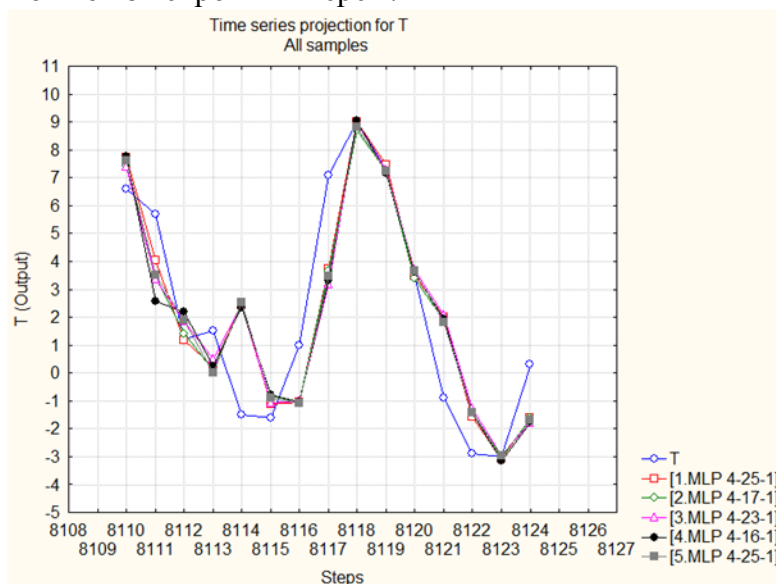


Рис. 3. Графік фактичної та прогнозних температур повітря

Згідно з рис. 3 можна сказати, що відібрані нейромережі дають дуже близькі прогнози температури повітря. У таблиці представлено коефіцієнти кореляції та значення середньої квадратичної похибки для кожного із прогнозів.

Таблиця

*Коефіцієнти кореляції та середня квадратична похибка для прогнозів кожної з мереж*

Нейромережа	Середня квадратична похибка (°C)	Коефіцієнт кореляції
1.MLP-4-25-1	1,838866	0,882303914
2.MLP-4-17-1	1,899579	0,873162009
3.MLP-4-23-1	1,980348	0,861381256
4.MLP-4-16-1	2,035408	0,854014153
5.MLP-4-25-1	1,941979	0,867174574

Аналогічним чином можна виконати прогноз й інших метеорологічних параметрів, таких як атмосферний тиск, відносна вологість повітря, швидкість вітру.

**Висновки і пропозиції.** У статті на прикладі прогнозування температури повітря із застосуванням нейромережі продемонстровано використання Data Mining для прогнозу метеорологічних даних, а саме виконано короткостроковий прогноз температури повітря на 45 годин з інтервалом у 3 години. Найбільша абсолютна похибка прогнозування

становила 4,04 °C (нейромережа MLP-4-25-1), середня абсолютна похибка становить 1,47 °C, що підтверджує ефективність запропонованого прогнозу.

#### Список використаних джерел

1. *Анализ данных и процессов : учеб. пособие / [А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров]. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.*
2. *Bartok J. Data Mining for fog prediction and low clouds detection / J. Bartok, F. Babič, P. Bednár, J. Paralič, J. Kováč, I. Bartoková, L. Hluchý, M. Gera // Computing and Informatics. – 2011. - Vol. 30. – P. 1441–1464.*
3. *Bilgin T. A. data mining application on air temperature database / T. A. Bilgin, A. Çamurcu // Advances in Information Systems. - Springer Berlin Heidelberg. – 2005. - P. 68–76.*
4. *Fayyad U. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases / U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth // AI Magazine. – 1996. – № 17 (3): FALL. - P. 37–54.*
5. *Fonte P. M. Wind speed prediction using artificial neural networks / P. M. Fonte, G. X. Silva, J. C. Quadrado // Proceedings of the 6th WSEAS Int. Conf. on neural networks, Lisbon, Portugal, June 16–18, 2005. – P. 134–139.*
6. *Han J. Data Mining: concepts and techniques / J. Han, M. Kamber, J. Pei. – 3rd ed. – Elsevier, 2011. – 744 p.*
7. *Hand D. Principles of Data Mining / D. Hand, H. Mannila, P. Smyth. – Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 2001. – 546 p.*
8. *Hartigan J. A. A K-Means clustering algorithm / J. A. Hartigan, M. A. Wong // Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics). – 1979. - Vol. 28, No.1. - P. 100–108.*
9. *Hayati M. Temperature forecasting based on neural network approach / M. Hayati, Z. Mohebi // World Applied Sciences Journal. – 2007. – Vol. 2, Num. 6. – P. 613–620.*
10. *Kotsiantis S. Using data mining techniques for estimating minimum, maximum and average daily temperature values / S. Kotsiantis, A. Kostoulas, S. Lykoudis, A. Argiriou, K. Menagias // International Journal of Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2008. - Vol. 1, Num. 1. - P. 16–20.*
11. *Kumar V. The Top ten algorithms in Data Mining / V. Kumar, X. Wu. – Taylor&Francis Group, LLC, 2009. – 2008 p.*
12. *Li X. Real-time storm detection and weather forecast activation through data mining and events processing / X. Li, B. Plale, N. Vijayakumar, R. Ramachandran, S. Graves, H. Conover // Earth Sci Inform. – 2008. – Vol. 1. – P. 49–57.*
13. *Maqsood I. An ensemble of neural networks for weather forecasting / I. Maqsood, M. R. Khan, A. Abraham // Neural Computing & Applications. 2004. – Vol. 1, Num. 2. – P. 112–122.*
14. *Mitra S. Data mining: multimedia, soft computing and bioinformatics / S. Mitra, T. Acharya. – John Wiley&Sons, Inc., 2003. – 424 p.*
15. *Quinlan J. R. C4.5: Programs for machine learning. - Morgan Kaufmann, Los Altos, 1993. – 303 p.*
16. *Quinlan J. R. Induction of decision trees / J. R. Quinlan // Machine Learning 1, 1986. – P. 81–106.*
17. *Rokach L. Data Mining with decision trees: theory and applications / L. Rokach, O. Maimon. - World Scientific Publishing, 2007. – Vol. 61. – 270 p. – (Series in Machine Perception and Artificial Intelligence).*
18. *Shanmuganathan S. Data Mining methods to generate severe wind gust models / S. Shanmuganathan, Ph. Sallis // Atmosphere. – 2014. – Vol. 5. – P. 60–80.*
19. *Yang Y. CLOPE: A fast and effective clustering algorithm for transactional data / Y. Yang, H. Guan, J. You // Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ACM, 2002. - P. 682–687.*
20. *Zaki M. J. Data mining and analysis: fundamental concepts and algorithms / M. J. Zaki, M. J. Wagner. – NY : Cambridge University Press, 2014. – 593 p.*



**В.М. Томашевський**, д-р техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

**В.В. Нехай**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### **ЗАСОБИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ НАВЧАННЯ, ЯКІ ГРУНТУЮТЬСЯ НА МОВІ GPSS**

**В.Н. Томашевский**, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

**В.В. Нехай**, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### **СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ, БАЗИРУЮЩИЕСЯ НА ЯЗЫКЕ GPSS**

**Valentyn Tomashevskiy**, Doctor in Technical Sciences

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

**Valentyn Nekhai**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### **MEANS OF IMITATING MODELLING FOR EDUCATING, BASED ON GPSS LANGUAGE**

*Проведено аналіз засобів імітаційного моделювання, які ґрунтуються на мові GPSS. Показано переваги та недоліки мови GPSS і доцільність використання її для навчання та швидкої побудови імітаційних моделей.*

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, мова GPSS, мережі обслуговування.

*Проведен анализ средств имитационного моделирования, базирующихся на языке GPSS. Показаны достоинства и недостатки языка GPSS и целесообразность его использования для обучения и быстрого построения имитационных моделей.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, язык GPSS, сети обслуживания.

*The analysis of means of the imitating modeling which is based in language GPSS is carried out. Merits and demerits of language GPSS and expediency of its use for educating and construction of simulation models are shown.*

**Key words:** simulation system, language of GPSS, networks of service.

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток суспільства визначається стрімким збільшенням кількості інформації, що обумовлює нові пріоритетні напрямки розвитку сучасної освіти у сфері сучасних інформаційних технологій, спрямованих на модернізацію навчального процесу з метою його більш ефективного функціонування. Використання в навчальному процесі інформаційних технологій моделювання сприяє розвитку у студентів логічного мислення, дослідницьких навичок та самостійної пізнавальної діяльності студентів. Одним із розповсюджених методів моделювання складних систем є імітаційне моделювання.

Розвиток спеціалізованих засобів імітаційного моделювання бере початок з 60-х років ХХ сторіччя, коли була розроблена концепція світогляду (world view) дискретних мов моделювання, згідно з якою ці мови визначались як орієнтовані на події, дії та процеси. Поява мови GPSS, створеної у компанії ІВМ Джеффри Гордоном, відіграло особливу роль у подальшому розвитку засобів імітаційного моделювання. Свого часу ця мова була реалізована практично на всіх типах комп'ютерів і належала до першого десятка кращих мов програмування, випереджаючи навіть мову АЛГОЛ. На сьогодні існує кілька її версій для персональних комп'ютерів: для ОС DOS – GPSS/PC, для OS2 і DOS – GPSS/H, для Windows – GPSS World [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розподіленого імітаційного моделювання розглядаються в роботах вітчизняних та закордонних учених: М.П. Бусленка, В.В. Гусева, В.В. Казимира, В.В. Литвинова, Т.П. Мар'яновича, Р.Е. Браянта, Р.В. Майера, Д. Місри, М.М. Моїсеєва, Р.М. Фуджімото, К.М. Ченді та

інші. Також дослідження з теорії планування експерименту належать Ю.П. Адлеру, Ю.В. Грановському, В.В. Налимову, В.В. Федорову, С.Г. Радченко.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на значні здобутки науковців та практиків у сфері інформаційних технологій імітаційного моделювання і на сьогодні лишаються невирішеними питання щодо застосування комп'ютерного моделювання для унаочнення етапу експериментування в задачах з теорії планування експерименту, збільшення швидкості отримання результатів моделювання, використання мови моделювання для побудови подійних дискретних імітаційних моделей і проведення експериментів з ними.

**Мета статті.** Метою цієї статті є обґрунтування подальшого розвитку та застосування сучасних комп'ютерних інформаційних технологій – комп'ютерної системи імітаційного моделювання GPSS – у навчальному процесі під час підготовки фахівців у сфері комп'ютерного моделювання.

**Виклад основного матеріалу.** Мова моделювання GPSS (General Purpose Simulating System) – система моделювання загальноцільового призначення використовується для побудови подійних дискретних імітаційних моделей і проведення експериментів з ними. У цій мові були уніфіковані об'єкти, необхідні для побудови імітаційних моделей: засоби генерації динамічних об'єктів – транзактів; об'єкти, що відтворюють певні ресурси для обслуговування – пристрої, накопичувачі або пристрої пам'яті та обслуговування; спискові структури, що відтворюють черги до ресурсів, а також засоби збирання статистики за результатами моделювання. Прихований від користувача внутрішній механізм просування модельного часу від події до події застосовував списки поточних і майбутніх подій.

Мова GPSS – це мова моделювання дискретних систем декларативного типу, орієнтована на процеси і побудована за принципами мови об'єктів. Основними елементами цієї мови є транзакти і блоки, які відображають відповідно динамічні і статичні об'єкти системи. Блоки мають уніфіковану структуру з певною кількістю операндів, значення яких задаються або можуть бути задані за замовченням. Таким чином, GPSS-модель складається з послідовності блоків, по яких рухаються транзакти. Наприклад, щоб промодельовати систему обслуговування з одним пристроєм достатньо у найпростішому випадку п'яти блоків. Такі властивості мови GPSS дозволяють швидко навчити користувача будувати моделі, що робить її унікальною як засіб для навчання імітаційному моделюванню.

Основна вада мови GPSS – відсутність можливості будувати об'єктно-орієнтовані імітаційні моделі для складних систем моделювання. Водночас засоби мови GPSS мають унікальні можливості будувати складні моделі, в яких використовується непряма адресація блоків з використанням параметрів транзактів. Це дозволяє створювати складні сітьові мережі обслуговування з застосуванням віртуальних пристроїв обслуговування, задаючи одну послідовність параметричних блоків для різних вузлів мережі обслуговування.

Незважаючи на значний вік, мова GPSS є однією з найбільш застосованих у навчальному процесі. Про це свідчить багато посібників [2; 3; 4], які використовуються в різних ВНЗ. За допомогою цієї мови студенти дуже швидко вчаться будувати імітаційні моделі. Наприклад, на кафедрі автоматизованих систем оброблення інформації та управління (АСОІУ) НТУУ «КПІ» вже на першому практичному занятті з дисципліни «Моделювання систем» студенти моделюють системи масового обслуговування. Якщо порівняти швидкість написання коду GPSS-програми та аналогічної програми звичайними засобами програмування, то різниця в часі буде значною. Про це свідчить опис такої програми мовами Fortran і C у книзі [5], який займає понад 50 сторінок.

Важливим для навчання імітаційному моделюванню є розуміння принципів побудови моделюючих алгоритмів і механізмів просування модельного часу. Ці знання дають змогу розуміти як побудовані будь-які транслятори для мов дискретного імітаційного моделювання. Досвід викладання цих питань показує, що студенти можуть самотужки створювати свої засоби моделювання. Наприклад, так студентом кафедри АСОІУ в 1995 році самостійно був розроблений мовою Pascal транслятор A95 для мови GPSS під Windows для персональних комп'ютерів, який досі є доступним на сайті [www.simulatin.org.ua](http://www.simulatin.org.ua). На той час фірма Minuteman Software мала тільки транслятор GPSS/PC для DOS. Для розроблення інтерфейсу для транслятора A95 був потрібний час і Minuteman Software встигла в цьому ж році випустити GPSS World під Windows.

Іншим прикладом є створення відкритої розподіленої системи OpenGPSS [6] аспірантом Д.Г. Диденко, яка працює з кластерами та має онлайн-портал для роботи через Інтернет і була доступна за адресою <http://www.simulation.kiev.ua>. Автором отримано свідоцтво № 22543 (від 05.11.2007 р.) на реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма “Мультиагентна система дискретно-подійного імітаційного моделювання OpenGPSS”».

Транслятор для системи OpenGPSS складається з таких частин:

1. Лексичний аналізатор, який трансліює вхідну мову у внутрішній формат.
  2. Таблиця ідентифікаторів, яка створюється лексичним аналізатором, в якій міститься інформація про використані у програмі назви сутностей.
  3. Синтаксичний аналізатор, який перевіряє синтаксис коду, що трансліюється. Він використовує встановлену граматику мови і створює *синтаксичне дерево*.
  4. Синтаксичне дерево, в якому зберігається внутрішня структура вхідної GPSS-програми.
  5. Семантичний аналізатор, який перевіряє семантичну коректність програм на основі інформації, отриманої з синтаксичного дерева та таблиці ідентифікаторів.
  6. Генератор коду, який проходить по синтаксичному дереву та генерує внутрішній код.
- Етапами трансляції вхідної GPSS-програми є:
- 1) лексичний аналіз (розбиття вхідного потоку на *токени*);
  - 2) синтаксичний аналіз (побудова абстрактного синтаксичного дерева);
  - 3) семантичний аналіз (побудова внутрішнього представлення моделі);
  - 4) генерація коду (створення коду імітаційної моделі на внутрішній мові).

Система моделювання OpenGPSS, реалізована мовою PL/SQL, використовує технологію взаємодіючих агентів, ґрунтується на кластері та підтримує динамічну реконфігурацію кластера у випадку відмови або у разі підключення нового сервера. Інформація про мережеву топологію кластера використовується лише на системному рівні, що забезпечує прозорість імітації для користувачів. У GPSS-програмі немає директив для розпаралелювання, вона працює у гетерогенній мережі, на різних архітектурах комп'ютерів, з різними операційними системами.

Про те, що мова GPSS продовжує свій розвиток, свідчить створення системи Object GPSS [7], яка дозволяє просто і природно писати тексти моделей на Object Pascal і використовувати її можливості для моделювання. А.Г. Королев стверджує, що можливості Object GPSS помітно перевершують ті, що є, наприклад, у GPSS World, у першу чергу, за рахунок можливостей самого Object Pascal, а в другу – за рахунок розширення номенклатури блоків, процедур і функцій.

Окремо є сенс зупинитись на імітаційній системі інтерактивного моделювання (ICIM), яка була створена на кафедрі АСОІУ, і має вбудований генератор імітаційних GPSS-програм. Перша версія системи ICIM працювала під керівництвом DOS для персональних комп'ютерів. У 1998 році було створено другу версію – ICIM'95, з графіч-

ними засобами побудови імітаційних моделей для Windows. Основне призначення ICIM – моделювання дискретних систем, які можна зобразити за допомогою мереж обслуговування загального вигляду. Для цієї системи розроблено лінгвістичний процесор, за допомогою якого користувач у діалоговому режимі автоматично створював GPSS-програму й запускав її на виконання. Остання версія системи ISS 2000 [8] (авторське свідоцтво на твір № 30622 від 2009 р.) дозволяє автоматично створювати імітаційні моделі замкнених і розімкнених мереж масового обслуговування, транспортних мереж, логістичних і виробничих систем, а також є засобом для навчання імітаційному моделюванню дискретних подійних сітьових моделей.

Автоматична генерація коду GPSS-програм для сітьових моделей спрощує створення імітаційних моделей, дозволяючи пропустити етап програмної реалізації, який звичайно виконує програміст або аналітик з моделювання. Суттєвий вииграш у часі створення моделей, особливо великих мереж, відбувається за рахунок переходу від концептуального рівня у вигляді графа з параметричним настроюванням об'єктів (вузлів) моделі до автоматичного створення GPSS-програм. Наприклад, для створення системи обслуговування з одним пристроєм максимально може бути задіяно до 15 блоків мови GPSS. Уявіть складність GPSS-програми, якщо потрібно створити модель для 50 вузлів мережі обслуговування. Лінгвістичний процесор системи ISS 2000 гарантує побудову правильного коду мовою GPSS. Більш того, доступ програміста до побудованої GPSS-програми дозволяє змінювати й доповнювати отриманий код, що значно розширює можливості системи ISS 2000, але в цьому випадку програміст бере на себе відповідальність за правильність створеної GPSS-моделі.

У системі ISS 2000 [2] є можливості визначення потенційно вузьких місць мережі обслуговування з використанням операційного аналізу ще до початку проведення експериментів з моделлю. Як відомо, вузькі місця в мережі визначають її пропускну здатність, тобто такі розрахунки дозволяють попередньо до початку моделювання збалансувати систему, змінюючи пропускну здатність окремих вузлів мережі обслуговування ще на концептуальному рівні. Простота створення концептуальних моделей транспортних мереж показана на рисунку.

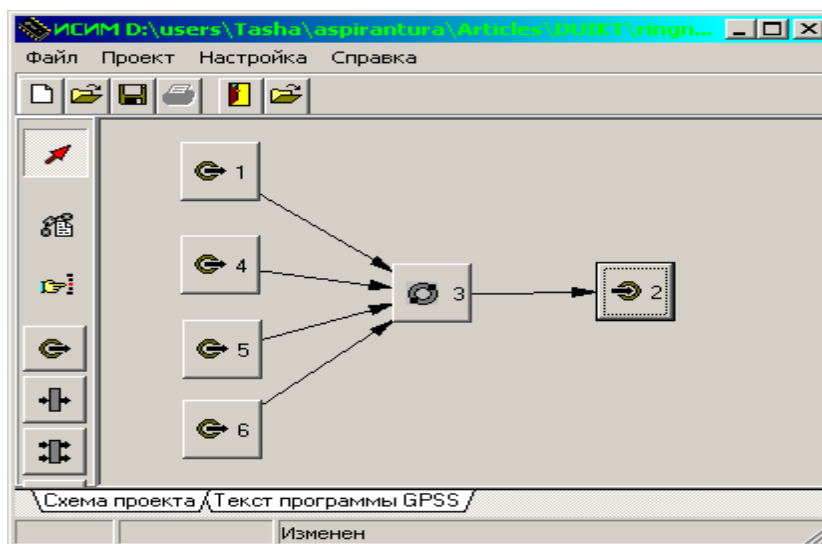


Рис. Концептуальна структура кільцевої транспортної мережі

У моделі використовуються 4 генератори (блоки 1, 4, 5 і 6) для створення потоків пасажирів різної категорії, кільцева мережа (блок 3) і термінатор (блок 2). Лінгвістичний процесор системи ISS 2000 будує GPSS-програму, яка не залежить від характеристик об'єктів перевезення або кількості вершин мережі (зупинок), куди можуть прибува-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ти пасажирів. Задавання характеристик об'єктів робиться за допомогою параметричного настроювання функціональних залежностей та вузлів обслуговування, тобто з використанням непрямой адресації елементів GPSS-моделі [9]. Такий підхід дозволяє спростити створення програмного коду, а також полегшити внесення змін у програму.

Систему ISS 2000 зручно використовувати для навчання студентів [10] створенню GPSS-моделей. У цьому випадку після ознайомлення з мовою GPSS і принципами створення моделей з блоків студенти можуть використовувати систему ISS 2000 для отримання прикладів створення GPSS-програм різної складності, починаючи з простих систем обслуговування. Досвід застосування такого підходу показує значне прискорення процесу навчання створенню імітаційних моделей мовою GPSS.

**Висновки.** Мова GPSS, незважаючи на значний вік, є зручним засобом для навчання імітаційному моделюванню за рахунок простоти та швидкості створення моделей. Закладені в ній конструкції елементів мови є базовими для будь-якої мови дискретного подійного моделювання. Розуміння внутрішнього механізму керування процесом моделювання у модельному часі дозволяє самостійно створювати моделюючі системи та розуміти принципи побудови засобів імітаційного моделювання.

#### Список використаних джерел

1. *Томашевський В. М.* Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К. : Видавнича група BVH, 2005. – 352 с.
2. *Томашевський В. Н.* Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. – М. : Бестселлер, 2003. – 416 с.
3. *Боев В. Д.* Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World / В. Д. Боев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
4. *Моделювання систем у GPSS World : навч. посіб. / Я. І. Соколовський, Ю. В. Шабатура, Я. І. Виклюк, І. М. Крошній, М. В. Дендюк ; за ред. В. В. Пасічника.* – Львів : Новий Світ – 2000, 2014. – 288 с.
5. *Кельтон В.* Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – 3-е изд. – СПб. : Питер ; Издат. группа BVH, 2004. – 847 с.
6. *Томашевський В. Н.* Агентная архитектура распределенной дискретно-событийной системы имитационного моделирования OpenGPSS / В. Н. Томашевский, Д. Г. Диденко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2006. – № 4. – С. 123–132.
7. *Королев А. Г.* Моделирование систем средствами Object GPSS. Практический подход в примерах и задачах: учебное пособие / А. Г. Королев. – Северодонецк, 2008. – 219 с.
8. *Томашевський В. Н.* Система дискретного имитационного моделирования ISS 2000 / В. Н. Томашевский, Н. В. Богушевская // Праці міжнародної наукової конференції «Досягнення та перспективи розвитку інформаційного суспільства в Україні» (Ганновер, Німеччина, 2006 р.). – К. : Зв'язок, 2006. – С. 93–105.
9. *Богушевська Н. В.* Формальна модель кільцевої транспортної мережі. Реалізація перетворення діалогової нотації до програмного коду / Н. В. Богушевська, В. М. Томашевський // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2008. – № 48. – С. 19–24.
10. *Богушевская Н. В.* Использование системы ИСИМ при изучении дисциплины «Моделирование систем» / Н. В. Богушевская // Матеріали Міжнародної наук. конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій», Євпаторія, 15–18 травня 2006 р. : зб. наук. праць. – Херсон : Видавництво Херсонського морського інституту, 2006. – Т. 4. – С. 14–18.

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

### ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНАЯ РЕКОМБИНАЦИЯ В КРИСТАЛЛАХ ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ СВЕТОМ ИЗ F-ПОЛОСЫ ПОГЛОЩЕНИЯ

**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

### ЕЛЕКТРОННО-ДІРКОВА РЕКОМБІНАЦІЯ У КРИСТАЛАХ ХЛОРИСТОГО КАЛІЮ ПІД ЧАС ЗБУДЖЕННЯ СВІТЛОМ З F-СМУГИ ПОГЛИНАННЯ

**Petr Gorbenko**, PhD in Physico-Mathematical Sciences**Anatoliy Kovtun**, PhD in Physico-Mathematical Sciences**Aleksandr Rogoza**, PhD in Physico-Mathematical Sciences**Yuriy Sholomiy**, student

Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

### ELECTRON-HOLE RECOMBINATION IN POTASSIUM CHLORIDE CRYSTALS WHEN EXCITED BY LIGHT FROM THE F-ABSORPTION BAND

Проведены экспериментальные и теоретические исследования электронно-дырочной рекомбинации в чистых и примесных кристаллах KCl, облученных рентгеновскими лучами. Показано, что чистые и с примесью  $Li^+$  рентгенизованные кристаллы при 77 K обесцвечиваются светом из F-полосы на ~10 %, а с примесью  $Na^+$  – на 60 %. Наблюдается пропорциональное уменьшение концентрации электронных и дырочных центров. На основании сравнения экспериментальных и расчетных данных сделан вывод, что в процессе рентгенизации в кристаллах возникают электронно-дырочные пары, локализованные на близко расположенных между собой электронных и дырочных центрах.

**Ключевые слова:** рекомбинация, рентгенизованные кристаллы, электронные центры, дырочные центры, электронно-дырочные пары, F-полоса.

Проведено експериментальні та теоретичні дослідження електронно-діркової рекомбінації в чистих та домішкових кристалах KCl, опромінених рентгенівськими променями. Показано, що чисті та з домішкою  $Li^+$  рентгенизовані кристали при 77 K обесцвечуються світлом із F-смуги на ~10 %, а з домішкою  $Na^+$  – на 60 %. Спостерігається пропорційне зменшення концентрації електронних та діркових центрів. На основі порівняння експериментальних та розрахункових даних зроблено висновок, що у процесі рентгенизації у кристалах утворюються електронно-діркові пари, які локалізовані на близько розташованих між собою електронних та діркових центрах.

**Ключові слова:** рекомбінація, рентгенизовані кристали, електронні центри, діркові центри, електронно-діркові пари, F-смуга.

Experimental and theoretical studies of electron-hole recombination in pure and doped KCl crystals, irradiated with x-rays. It is shown that the pure and mixed with  $Li^+$  X-rayed crystals at 77 K discolored light of the F-band at ~10 %, and with the admixture of  $Na^+$  – 60 %. Observed a proportional decrease in the concentration of electron and hole centers. Based on the comparison of experimental and calculated data it is concluded that in the process of intensely occur in crystals of electron-hole pairs localized on close between electron and hole centers.

**Key words:** recombination, X-rayed crystals, electronic centers, hole centers, electron-hole pairs, the F-band.

**Вступление.** В работе приведены экспериментальные и теоретические исследования электронно-дырочной рекомбинации в чистых и примесных кристаллах KCl. Показано, что облученные  $\gamma$ -лучами (рентгенлучами) кристаллы при 77 K частично обесцвечиваются светом F-полосы поглощения. Кинетика обесцвечивания имеет сложный характер. В процессе облучения в кристаллах возникают электронно-дырочные пары, локализованные на близко расположенных между собой электронных и дырочных центрах.

**Методы и результаты.** Исследования проводили на кристаллах KCl чистых и с примесью  $Li^+$  и  $Na^+$ . Кристаллы выращивали методом Киропулоса в платиновом тигле

из соли, тщательно очищенной от неконтролируемых примесей. Соль очищали двойной перекристаллизацией в полностью химически обессоленной воде.

Известно, что под действием рентгеновского излучения или  $\gamma$ -лучей в щелочногалогидных кристаллах чистых и с примесью ионов щелочного металла при 77 К генерируются  $F$ - и  $V_K$ -центры [1–3], а также  $F$ - и дырочные  $V_1(Li^+)$ - или  $V_1(Na^+)$ -центры [4–6].

На рис. 1 показаны спектры оптического поглощения кристаллов, облученных рентгенлучами при температуре 77 К. Оптическое поглощение  $V_K$ -центров для частот, показанных на рис. 1, в чистых кристаллах нами не обнаружено. В кристаллах с примесью ионов  $Li^+$  наблюдаются две полосы поглощения  $V_1(Li^+)$  (3,5 эВ) и  $V_2(Na^+)$  (4,21 эВ), которые соответствуют одному и тому же дырочному центру. В кристаллах с примесью ионов  $Na^+$  наблюдается одна  $V_1(Na^+)$ -полоса (3,45 эВ). Кристаллы, ранее облученные рентгенлучами, частично обесцвечиваются, если их освещать светом из  $F$ -полосы (2,3 эВ) поглощения (рис. 1). Кристаллы  $KCl$  чистые и с примесью  $Li^+$  обесцвечиваются на ~10 % [7], а кристаллы  $KCl$  с примесью  $Na^+$  – на 60 %. При обесцвечивании наблюдается пропорциональное уменьшение концентрации электронных и дырочных центров. Следовательно, во-первых, в процессе облучения рентгенлучами в кристаллах возникают электронно-дырочные пары, локализованные на близко расположенных электронном и дырочном центрах; во-вторых, радиус электронного состояния возбужденного  $F$ -центра увеличивается. Поэтому электрон возбужденного  $F$ -центра движется под действием кулоновских сил вакансии и дырки. При таких условиях возбужденные  $F$ -центры ионизируются в результате электронно-дырочной рекомбинации или переходят из возбужденного состояния в основное. Вероятности этих процессов, очевидно, зависят от кулоновского взаимодействия электрона возбужденного  $F$ -центра с вакансией и ближайшей дыркой.

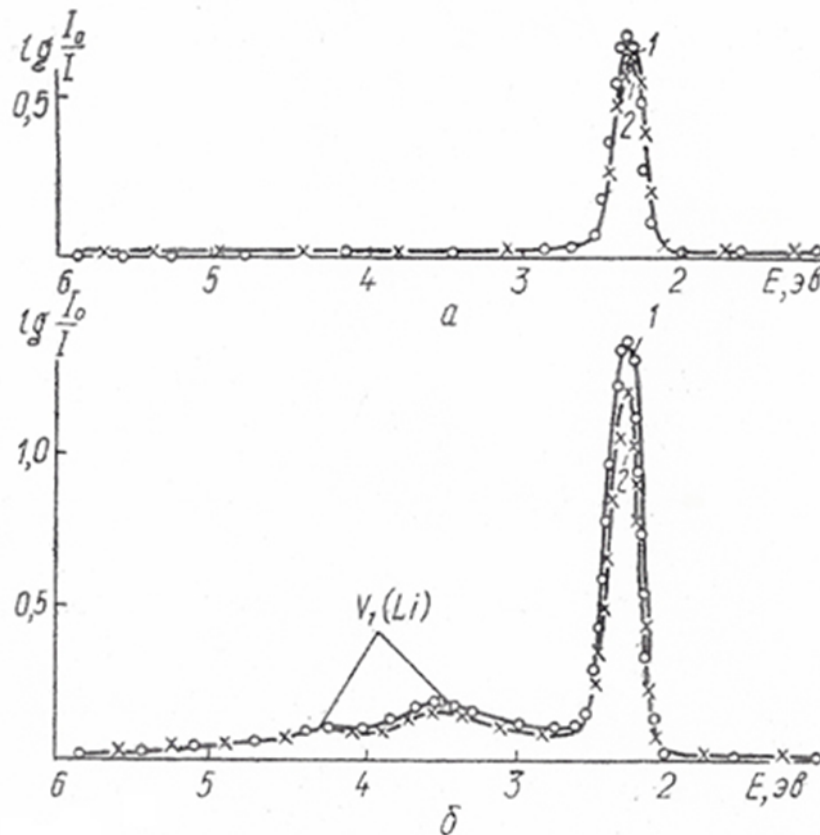


Рис. 1. Спектры поглощения кристаллов, облученных в течение 4 часов при 77 К (1), и после облучения их  $F$ -светом при 77 К (2): а – чистый кристалл  $KCl$ ; б –  $KCl$  + 1% мол.  $LiCl$  в шихте; в –  $KCl$  + 1% мол.  $NaCl$  в шихте

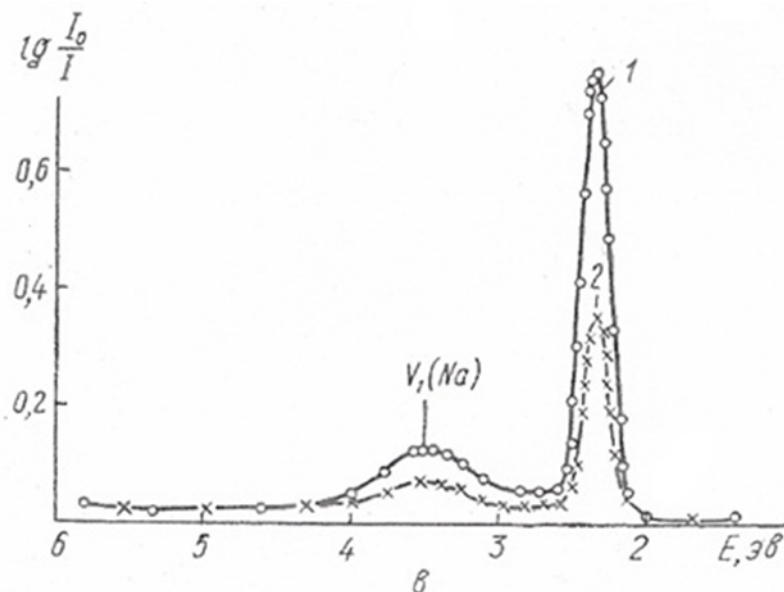


Рис. 1. Окончание (см. также с. 107)

Теперь о кинетике рекомбинации электронов возбужденных  $F$ -центров с ближайшими дырками. При возбуждении кристаллов, облученных рентгенлучами, светом из  $F$ -полосы поглощения в них происходят следующие процессы:  $F$ -центры, поглощая свет, переходят из основного в возбужденное состояние, причем предположим, что одни из них спонтанно переходят в основное состояние, другие исчезают в результате электронно-дырочной рекомбинации. Тогда соответствующие концентрации компонентов  $N_K/K = F, F^+, F^*, h/$  будут подчиняться следующим кинетическим уравнениям:

$$\frac{dN_F}{dt} = -\eta_F L N_F + A_{F^*} N_{F^*}, \quad (1)$$

$$\frac{dN_{F^*}}{dt} = \eta_F L N_F - A_{F^*} N_{F^*} - j N_{F^*} N_h, \quad (2)$$

$$\frac{dN_h}{dt} = -j N_{F^*} N_h, \quad (3)$$

$$\frac{dN_{F^+}}{dt} = j N_{F^*} N_h, \quad (4)$$

где  $\eta_F$  – квантовый выход фотовозбуждения  $F$ -центров;

$L$  – интенсивность поглощаемого света;

$A_{F^*}$  – вероятность спонтанного перехода  $F$ -центра из возбужденного состояния в основное;

$j$  – коэффициент рекомбинации электрона возбужденного  $F$ -центра с дыркой.

Из условия нейтральности кристаллов и сохранения полного числа галоидных вакансий  $M$  получаем два интеграла системы:

$$N_{F^+} + N_{h_0} + N_h = N_{F^+}^0, \quad (5)$$

$$N_F + N_{F_0} + N_{F^+} + N_{F^*} = M. \quad (6)$$

В этих уравнениях  $N_{h_0}$  и  $N_{F_0}$  концентрации «замороженных» дырок и  $F$ -центров, для которых вероятность рекомбинации весьма мала вследствие их взаимного пространственного распределения. Результирующий положительный заряд  $N_{F^+}^0$  должен быть скомпенсирован отрицательным зарядом, находящемся с ним в динамическом равновесии, например, щелочными вакансиями или межузельными ионами галоида.

Точно систему (1)–(6) решить невозможно. Но поскольку накопление промежуточных продуктов / возбужденных  $F$ -центров не происходит во время обесцвечивания за



исключением начального момента времени освещения кристалла [8], поэтому изменение концентрации возбужденных  $F$ -центров со временем будет очень малым. Критерием малости производной  $\dot{N}_{F^*}$  будет:

$$\dot{N}_{F^*} \ll \eta_F \cdot L \cdot N_F. \tag{7}$$

Определим условие выполнения этого критерия. Приравнявая производную  $\dot{N}_{F^*}$  нулю в уравнении (2), получим:

$$N_{F^*} = \frac{\eta_F L N_F}{A_{F^*} + j N_h}. \tag{8}$$

Дифференцируя (8) по времени, имеем:

$$\dot{N}_{F^*} = \frac{\eta_F L N_F (A_{F^*} + j N_h) - \eta_F \cdot L \cdot N_F \cdot j \dot{N}_h}{(A_{F^*} + j N_h)^2} \ll \eta_F \cdot L \cdot N_F. \tag{9}$$

Из (5) и (6) следует, что в процессе электронно-дырочной рекомбинации всегда будут выполняться условия:  $N_F \simeq N_h$  и  $\dot{N}_F \simeq \dot{N}_h$ , если  $N_{F^*} \ll N_F, N_h$ . Учитывая это, неравенство (9) после несложных преобразований примет вид:

$$\frac{j A_{F^*} N_F N_h}{(A_{F^*} + j N_h)^2} \ll N_F. \tag{10}$$

Второе слагаемое в знаменателе неравенства (10) представляет собой полную вероятность  $P$  рекомбинации электронов возбужденных  $F$ -центров с дырками за единицу времени. Для того, чтобы протекал процесс электронно-дырочной рекомбинации, необходимо, чтобы  $A_{F^*}$  и  $P$  были вероятности соизмеримы. Ради простоты предположим, что  $A_{F^*} \approx P$ . Тогда неравенство (10) можно переписать:

$$N_{F^*} \ll \frac{(A_{F^*} + P)^2}{j A_{F^*}} = \frac{4 A_{F^*} A_{F^*}}{j A_{F^*}} = \frac{4 j N_F A_{F^*}}{j A_{F^*}} \ll 4 N_F. \tag{11}$$

Следовательно, критерий малости производной выполняется, если  $N_{F^*} \ll 4 N_F$ . Это легко осуществляется, когда кристалл облучать монохроматическим светом малой интенсивности.

После подстановки (8) в уравнение (1) получим:

$$\frac{dN_F}{dt} = - \frac{\eta_F j L N_F N_h}{A_{F^*} + j N_h}. \tag{12}$$

Учитывая, что  $N_F \simeq N_h$ , уравнение (12) имеет вид:

$$\frac{dN_F}{dt} = - \frac{\eta_F j L N_F^2}{A_{F^*} + j N_F}. \tag{13}$$

Из уравнения (3) также следует, что:

$$\frac{dN_h}{dt} \simeq - \frac{\eta_F j L N_h^2}{A_{F^*} + j N_h}. \tag{14}$$

Если  $A_{F^*} \gg j N_F$ , то обесцвечивание будет подчиняться гиперболическому закону, а если  $A_{F^*} \ll j N_F$ , то будет иметь место экспоненциальный закон. Однако экспериментальные данные показывают, что обесцвечивание облученных рентгенлучами кристаллов имеет сложный характер.

Поскольку дифференциальные уравнения (13) и (14) аналогичны, будем искать решение для уравнения (13):

$$\frac{(A_{F^*} + j N_F) dN_F}{N_F^2} = -\eta_F j \cdot L \cdot dt;$$

$$\int \frac{A_{F^*} + j N_F}{N_F^2} dN_F = A_{F^*} \int \frac{dN_F}{N_F^2} + j \int \frac{N_F \cdot dN_F}{N_F^2} = -\frac{A_{F^*}}{N_F} + j \ln N_F = -\eta_F \cdot j \cdot L \cdot t + C.$$

Исходя из начальных условий  $N_F = M - N_{F_0}$  при  $t = 0$ , определим  $C$ :

$$C = -\frac{A_{F^*}}{N_{F_0}^0} + j \ln(M - N_{F_0})$$

$$-\frac{A_{F^*}}{N_F} + j \ln N_F = -\eta$$

$$j[\ln N_F - \ln(M - N_{F_0})]$$

$$\ln \frac{N_F}{M - N_{F_0}} = -\eta_F L t$$

$$\frac{N_F}{M - N_{F_0}} = \exp \left[ -\eta_F L t \right]$$

$$\frac{N_F}{M - N_{F_0}} \exp \left[ \frac{A_{F^*}}{j(M - N_{F_0})} \right]$$

$$\frac{N_F}{M - N_{F_0}} \exp \left[ \frac{A_{F^*}}{j(M - N_{F_0})} \cdot \frac{N_F - (M - N_{F_0})}{N_F} \right] = e^{-\eta_F L t} \quad (15)$$

Выражение (15) представляет собой решение уравнения (13). Аналогично запишем решение для уравнения (14):

$$\frac{N_h}{N_{F^+}^0 - N_{h_0}} \exp \left[ \frac{A_{F^*}}{j(N_{F^+}^0 - N_{h_0})} \cdot \frac{N_h - (N_{F^+}^0 - N_{h_0})}{N_h} \right] = e^{-\eta_F L t}, \quad (16)$$

где  $(M - N_{F_0})$  и  $(N_{F^+}^0 - N_{h_0})$  – соответственно начальная концентрация  $F$ -центров и дырок.

**Сравнение экспериментальных и расчетных данных.** Для сравнения определяются постоянные  $a = \frac{A_{F^*}}{j(M - N_{F_0})}$  и  $b = \eta_F \cdot L$  путем решения двух уравнений вида (15) для двух фиксированных промежутков времени.

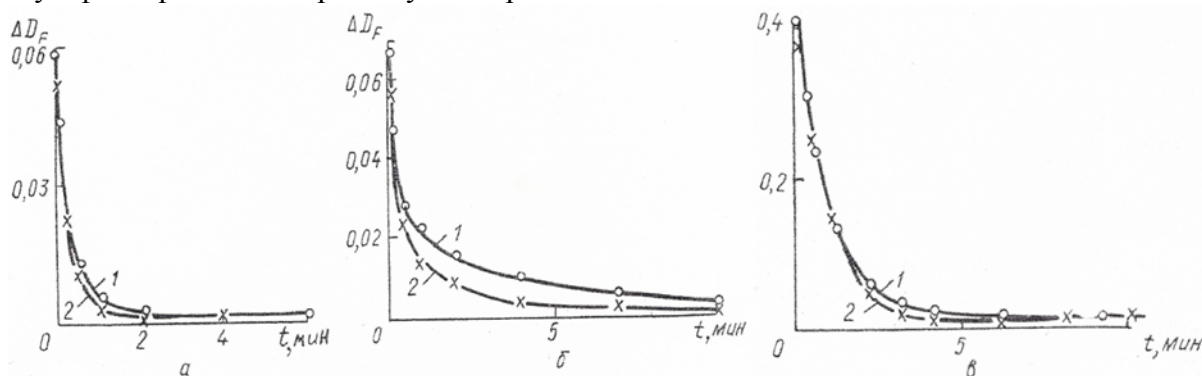


Рис. 2. Временная зависимость изменения плотности  $F$ -центров при освещении кристаллов светом из  $F$ -полосы (540 нм), при 77 К: 1 – эксперимент; 2 – расчет;  
а – чистый кристалл  $KCl$ ; б –  $KCl + 1\%$  мол.  $LiCl$  в шихте; в –  $KCl + 1\%$  мол.  $NaCl$  в шихте

На рис. 2 приведено сравнение экспериментальных (1) и расчетных (2) данных временной зависимости оптической плотности  $F$ -центров. Из рисунка видно, что теория хорошо описывает кинетику рекомбинации электронов возбужденных  $F$ -центров с ближайшими дырками.

#### Список использованных источников

1. Kanzig W., Woodruff O.T. // Phys. Chem. Solids. – 1958. – Т. 9. – С. 70.
2. Gazzinelly R., Micher R.L. // Phys. Rev. – 1968. – Т. 175. – С. 395.
3. Daly D. F., Micher R.L. // Phys. Rev. – 1968. – Т. 175. – С. 412.
4. Dakss M. L., Micher R.L. // Phys. Rev. – 1969. – Т. 187. – С. 1053.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. *Dakks M. L., Micher R.L. Phys. Rev. Letters, 1967, том 18, стр. 1056.*
6. *Patten F. W., Keller F.J. // Phys. Rev. – 1969. – Т. 187. – С. 1120.*
7. *Калабухов Н. П. О механизмах электронно-дырочной рекомбинации в кристаллах KCl и KCl: LiCl / Н. П. Калабухов, А. А. Ковтун, П. К. Горбенко // Материалы XIX совещания по люминесценции. – Рига, 1970. – С. 99–100.*
8. *Горбенко П. К. Кинетика фотопревращения F-центров в F'-центры в щелочногалоидных кристаллах / П. К. Горбенко // Оптика и спектроскопия. – 1966. – Т. 20. – С. 453–458.*

УДК 629.734.7

**В.А. Дмитрієв**, канд. техн. наук

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, м. Чернігів, Україна

### **ВИБІР ОБМЕЖЕНЬ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ПАРАШУТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОВІТРЯНОГО ДЕСАНТУВАННЯ**

**В.А. Дмитриев**, канд. техн. наук

Государственный научно-испытательный центр Вооруженных Сил Украины, г. Чернигов, Украина

### **ВЫБОР ОГРАНИЧЕНИЙ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАШЮТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОГО ДЕСАНТИРОВАНИЯ**

**Volodymyr Dmytriiev**, PhD in Technical Sciences

State Research Testing Center of Ukraine Arm Force, Chernihiv, Ukraine

### **LIMIT RANGE OF CONDITIONS OPERATION OF THE PARACHUTE SYSTEMS FOR PRECAUTIONS AIRDROP SAFETY**

*Розроблено рекомендації щодо вибору обмежень діапазону умов застосування парашютних систем для забезпечення безпеки повітряного десантування.*

*Ключові слова:* безпека, десантування, запас міцності, навантаження, обмеження, парашютна система.

*Разработаны рекомендации по выбору ограниченный диапазона условий применения парашютных систем для обеспечения безопасности воздушного десантирования.*

*Ключевые слова:* безопасность, десантирование, запас прочности, нагрузка, ограничение, парашютная система.

*In the article are worked recommendations on limit range diapason's of conditions operation of the parachute systems for precautions airdrop safety.*

*Key words:* safety, airdrop, reserve durability, load, limit range, parachute system.

**Постановка проблеми.** Під час проведення досліджень з продовження термінів служби рятувальним парашютним системам [1] була визначена необхідність заміни окремих елементів парашютних систем (ПС). Обумовлено це втратою матеріалами властивостей до рівня, що не забезпечує наявність потрібного запасу міцності та, як наслідок, безпеку застосування ПС у продовжений період експлуатації. Така ж ситуація може скластися під час проведення досліджень щодо ПС інших типів. При цьому можливі випадки, коли заміна елементів буде технічно або економічно недоцільна через великий перелік елементів, складність робіт, відсутності елементів (складових частин) ПС із залишком терміну служби на складах, вартості закупівлі нових елементів та ін. Рішенням при цьому може бути встановлення на продовжений період експлуатації обмежень умов застосування ПС таким чином, щоб знизити навантаження на елементи конструкції системи до рівня, який забезпечить наявність потрібного запасу міцності.

Рівень навантаження елементів конструкції передусім залежить від маси парашутиста, його швидкості та висоти (щільності повітря) у разі введення ПС у дію. Швидкість у свою чергу обумовлена швидкістю десантування з повітряного судна та часом затримки розкриття парашута.

Майже аналогічна ситуація може скластися під час проведення випробувань ПС для десантування особового складу та вантажів. Для забезпечення безпеки їх проведення передбачається послідовне наближення в натурних експериментах до граничних умов

застосування, які визначені тактико-технічним завданням (ТТЗ) на розроблення ПС. При цьому може виникнути випадок, коли подальші експерименти за результатами попередніх є небезпечними, внаслідок чого можуть встановлюватися обмеження умов застосування ПС, відмінні від вимог ТТЗ. Таким чином, постає питання обґрунтування вибору характеристики або сполучення характеристик (швидкість, висота, час затримки), які підлягають обмеженню.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз звітів про проведення аналогічних досліджень свідчить, що, крім заміни окремих елементів ПС, розглядається лише заборона її подальшої експлуатації. Тобто визначається неможливість продовження терміну служби ПС або у разі проведення випробувань невідповідність ПС вимогам ТТЗ та негативна рекомендація щодо прийняття її на постачання й запуску в серійне виробництво.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Одним із шляхів вирішення проблеми може бути встановлення обмежень умов застосування ПС, при цьому постає питання вибору характеристик умов застосування ПС, які підлягають обмеженню.

**Мета статті** – розроблення рекомендацій щодо вибору характеристики або сполучення характеристик умов застосування ПС, які підлягають обмеженню, для забезпечення безпеки повітряного десантування.

**Виклад основного матеріалу.** На підставі проведеного аналізу наявних методик розрахунку максимальних навантажень елементів конструкції СП [2; 3] була визначена принципова можливість їх розрахунку для основних елементів лише за відомостями про основні тактико-технічні характеристики й умови застосування СП, які містяться в експлуатаційно-технічній документації, за формулами:

$$P_{л(вк)} = \frac{mg(n_y^{\max}+1)}{2n_{л(вк)}}, \quad P_{1c} = \frac{3mgl_c V_n}{4n_c V_{приз}} \sqrt{\frac{2\pi(n_y^{\max}+1)\rho_n}{\rho_0 S_{п}}}, \quad \sigma_k = \frac{mgV_n}{16V_{приз}} \sqrt{\frac{2\pi(n_y^{\max}+1)\rho_n}{\rho_0 S_{п}}}, \quad (1)$$

де  $P_{л(вк)}$  та  $P_{1c}$ , – навантаження ланки парашутної (вільних кінців системи підвіски) та одній стропа відповідно;

$\sigma_k$  – напруження тканини купола парашута;

$m$  – маса парашутиста;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$n_y^{\max}$  – максимальне перевантаження під час розкриття купола парашута;

$n_{л(вк)}$  – кількість складань стрічок або шнурів ланки (вільних кінців);

$l_c$  та  $n_c$  – довжина та кількість строп відповідно;

$V_n$  та  $V_{приз}$  – швидкість парашутиста під час початку наповнення купола та приземлення відповідно;

$\rho_n$  та  $\rho_0$  – щільність повітря на висоті початку наповнення купола та у землі відповідно;

$S_{п}$  – площа парашута.

Аналіз формули (1) щодо впливу змін параметрів (маси, швидкості, щільності повітря) на зміну навантаження показує, що:

– знизити навантаження ланки парашутної та вільних кінців можливо лише за рахунок зменшення маси десантника або ОВТВ, при цьому залежність прямо пропорційна, відсоток зміни навантаження рівний відсотку зміни маси;

– знизити навантаження строп та купола можливо за рахунок зменшення всіх параметрів, при цьому для маси та швидкості залежність прямо пропорційна, відсоток зміни навантаження рівний відсотку зміни параметра, а для щільності – залежність степенева, з показником степені менше одиниці, внаслідок чого зменшення навантаження відбувається повільніше, ніж зменшення щільності повітря (табл.).

Таблиця

Зміни навантаження елементів у разі зміни параметрів (у відсотках)

№ п/п	Елемент	Параметр	Відсоток зміни параметра				
			10	20	30	40	50
1	Ланка, вільні кінці	маса	10	20	30	40	50
		швидкість	0	0	0	0	0
		щільність	0	0	0	0	0
2	Стропи	маса	10	20	30	40	50
		швидкість	10	20	30	40	50
		щільність	5,2	10,6	16,3	22,5	29,3
3	Купол	маса	10	20	30	40	50
		швидкість	10	20	30	40	50
		щільність	5,2	10,6	16,3	22,5	29,3

Примітка: за вихідну щільність повітря прийнята щільність на висоті 1000 м.

Це свідчить про недоцільність встановлення обмежень по висоті застосування ПС. Крім цього, зменшенню щільності повітря на 10 % при вихідній висоті 1000 м відповідає збільшенню висоти приблизно до 2050 м, на 20 % – до 3200 м, на 30 % – до 4500 м, на 40 % – до 5900 м, на 50 % – до 7500 м. Це суттєво обмежує діапазон висот десантування й може бути неприпустимим з тактичного погляду та знижує безпеку десантування через збільшення розсіювання десанту під час приземлення, особливо на обмежені майданчики.

Швидкість парашутиста при початку наповнення купола залежить, як зазначено вище, від швидкості повітряного судна під час десантування та часу затримки введення парашута у дію. Зазвичай швидкість десантування знаходиться у діапазоні 120–400 км/год (33,3–111,1 м/с). Нижня границя діапазону обумовлена мінімальною швидкістю стійкого польоту повітряного судна або мінімальною швидкістю наповнення купола парашута. Верхня – фізіологічною спроможністю парашутиста витримувати швидкісний напір повітря без травмування або властивостями вантажу, що десантується. Також обмеження верхньої границі може бути прийнято із тактичних обміркувань для зменшення розсіювання парашутистів (вантажів) під час приземлення.

Після відділення від повітряного судна відбувається швидке гальмування горизонтальної швидкості  $V_z$  парашутиста під дією сили опору повітря та наростання вертикальної швидкості зниження  $V_v$ . Сумарна швидкість парашутиста  $V_\Sigma$  може бути визначена за формулою:

$$V_\Sigma = \sqrt{V_z^2 + V_v^2}. \quad (2)$$

Рівняння руху парашутиста мають вигляд:

$$m a_\Gamma = -c_{\text{пр}} S_{\text{пр}} \frac{\rho_H V_\Gamma^2}{2}, \quad \text{або} \quad m \frac{dV_\Gamma}{dt} = -c_{\text{пр}} S_{\text{пр}} \frac{\rho_H V_\Gamma^2}{2},$$

$$m a_v = mg - c_{\text{пр}} S_{\text{пр}} \frac{\rho_H V_v^2}{2}, \quad \text{або} \quad m \frac{dV_v}{dt} = mg - c_{\text{пр}} S_{\text{пр}} \frac{\rho_H V_v^2}{2}, \quad (3)$$

де  $a_\Gamma$  та  $a_v$  – прискорення парашутиста у горизонтальній та вертикальній площині відповідно;

$c_{\text{пр}}$  та  $S_{\text{пр}}$  – коефіцієнт опору та площа парашутиста з укладеним ранцем парашута відповідно.

На графіку (рис. 1) наведено зміни за часом затримки до розкриття парашута сумарної швидкості парашутиста згідно з формулами (2), (3) для висоти 1000 м при середніх значеннях коефіцієнта опору та площини парашутиста з укладеним ранцем парашута, характерних для нестійкого положення парашутиста ( $c_{\text{пр}} S_{\text{пр}} \approx 0,40$  [2; 3]).

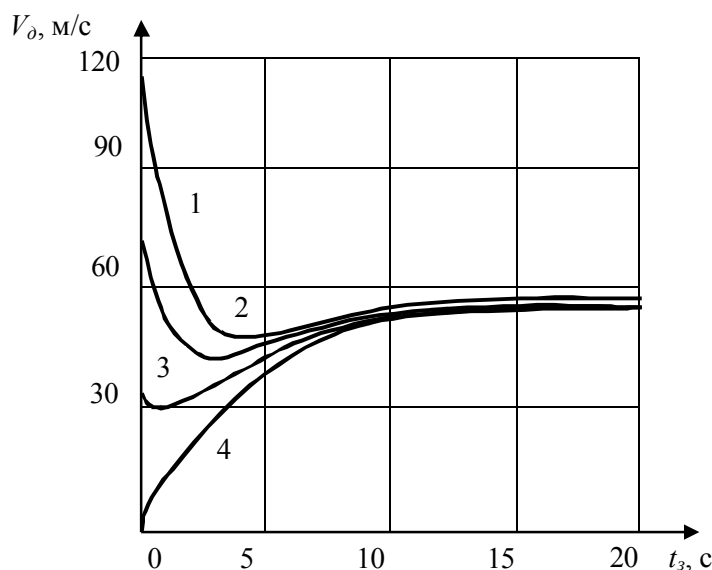


Рис. 1. Залежність швидкості парашутиста від швидкості десантування: 1 – швидкість десантування 400 км/год (111,1 м/с); 2 – 260 км/год (72,2 м/с); 3 – 120 км/год (33,3 м/с); 4 – 0 (з режиму висіння)

Аналіз графіка (рис. 1) показує, що:

- через 10–15 с після відділення від повітряного судна, незалежно від швидкості десантування, швидкість парашутиста становиться практично постійною, близькою до рівноважної (критичної) швидкості вертикального падіння 48–55 м/с (170–200 км/год);

- під час десантування зі швидкістю більше рівноважної, за 2–4 с швидкість парашутиста зменшується до значення, меншого рівноважної швидкості, а потім поступово збільшується;

- під час десантування зі швидкістю менше рівноважної, за 1–2 с швидкість парашутиста незначно зменшується, а потім поступово збільшується.

Таким чином, зменшення навантаження на елементи конструкції ПС можливо досягнути:

- зменшенням швидкості десантування до рівноважної швидкості вертикального падіння – у разі наявності технічних можливостей повітряного судна та припустимої тактики застосування десанту відповідно до завдання, або встановленням часу затримки розкриття парашута не менше 3–5 с – у разі, коли зменшення швидкості десантування технічно неможливо або неприєнятно з тактичних міркувань;

- зменшенням часу затримки розкриття парашута до 1–3 с та навіть до негайного розкриття парашута після відділення від повітряного судна – для випадків десантування зі швидкістю, меншою рівноважної швидкості вертикального падіння.

Реалізація на практиці другої пропозиції може негативно вплинути на безпеку відділення парашутиста від повітряного судна, тому її застосування може бути рекомендовано тільки після ретельного аналізу наслідків та відсутності інших можливостей зменшення навантаження.

Слід зазначити, що зменшити навантаження на елементи ПС можливо також введенням змін в її конструкцію – наприклад, за рахунок стабілізуючого парашута, який зменшує рівноважну швидкість парашутиста до 110–125 км/год (30–35 м/с).

Наведені рекомендації в цілому справедливі для будь-яких висот десантування. Однак, як виходить з формули (3), рівноважна швидкість ( $V_p$ ) залежить від щільності повітря, тобто висоти десантування:

$$V_p = \sqrt{\frac{2mg}{\rho_n c_{пр} S_{пр}}}, \quad (4)$$

що потребує урахування під час встановлення обмежень.

Графічно ця залежність (із заміною щільності на відповідну їй висоту) при  $m=90$  кг і  $c_{\text{пр}}S_{\text{пр}}\approx 0,40$  наведена на рис. 2.

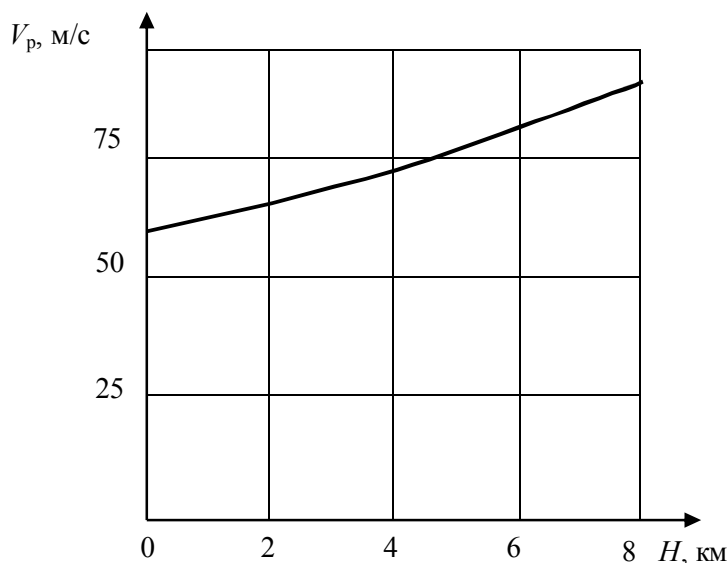


Рис. 2. Залежність рівноважної швидкості парашутиста від висоти

Графік надає додаткові аргументи, що підтверджують висновок про недоцільність встановлення нижньої межі обмежень по висоті застосування ПС, який був зроблений раніше для умов фіксованої швидкості. В реальних умовах збільшення висоти призводить до збільшення швидкості, що різноспрямовано впливає на навантаження (формула 1), та зменшує очікуваний ефект. Однак випадок встановлення верхньої межі обмежень по висоті може мати місце, оскільки при цьому зменшується швидкість, яка більш інтенсивно впливає на навантаження у порівнянні зі збільшенням щільності (табл.).

Результати проведеного вище аналізу для десантування особового складу можуть бути повністю застосовані для випадку десантування вантажів.

Узагальнений методичний підхід до встановлення обмежень з метою зменшення навантаження на елементи конструкції ПС такий:

1) визначити елемент з найменшим запасом міцності ( $\eta$ ) за формулами (1) та відомостями щодо характеристик міцності матеріалів ( $P_m$  або  $\sigma_m$ ), з яких виготовлені елементи:  $\eta_{л(вк)}=P_m/P_{л(вк)}$ ,  $\eta_{1c}=P_m/P_{1c}$ ,  $\eta_k=\sigma_m/\sigma_k$ ;

2) вибрати найбільш прийнятний з погляду технічних характеристик повітряного судна для десантування та тактичної задачі десанту варіант зменшення навантаження на ПС – зменшення швидкості десантування або маси десантника або їх разом до величини, що забезпечує потрібний запас міцності ( $\eta_n$ ) елементу конструкції ПС. При цьому визначити потрібне значення зменшеного навантаження  $P_{zm}=P_m/\eta_n$  ( $\sigma_{zm}=\sigma_m/\eta_n$ ) та за допомогою формул (1) визначити нове значення параметра (швидкості, маси або їх сполучення);

3) у разі неможливості, недоцільності або недостатності зменшення швидкості десантування і маси десантника визначити зміну верхньої межі висоти застосування ПС, або з обов'язковим урахуванням вимог безпеки, часу затримки розкриття парашута;

4) для вибраних обмежень виконати із застосуванням формул (1) перевірочний розрахунок для визначення запасу міцності інших елементів конструкції ПС. У випадку недостатності запасу міцності хоча б одного з елементів повторити процедури з додатковим зміненням параметрів.

**Висновки і пропозиції.** В роботі розроблено порядок вибору характеристик умов застосування ПС, які підлягають обмеженню, для забезпечення безпеки повітряного десантування. При цьому визначено таке:

– передусім доцільно розглядати обмеження зі швидкості десантування та маси десантника, при цьому у виборі одного з цих параметрів керуватися льотно-технічними характеристиками повітряного судна для десантування та тактикою застосування десанту;

– у разі неможливості зменшення навантаження на конструкцію ПС за рахунок цих параметрів розглянути обмеження з висоти та часу затримки введення ПС у дію.

Результати роботи в подальшому доцільно використовувати під час планування, організації та проведення робіт з продовження термінів служби серійним та випробувань нових зразків ПС.

### Список використаних джерел

1. *Дослідження з визначення можливості збільшення призначених показників аварійно-рятувального і парашутно-десантного майна та спеціального спорядження* : звіт про НДР / ДНВЦ ЗС України. – Чернігів, 2015. – 115 с.

2. *Лобанов Н. А. Основы расчета и конструирования парашютов* / Н. А. Лобанов. – М. : Машиностроение, 1965. – 364 с.

3. *Иванов П. И. Летные испытания парашютных систем* / П. И. Иванов. – Феодосия : Гранд-С, 2001. – 332 с.

УДК 001.51:004.031.4(045)

**О.В. Заріцький**, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

### КОНЦЕПЦІЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАДРОВИХ СИСТЕМ

**О.В. Зарицкий**, канд. техн. наук

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

### КОНЦЕПЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАДРОВЫХ СИСТЕМ

**Oleh Zaritskyi**, PhD in Technical Sciences

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

### CONCEPTION OF PERSPECTIVE INFORMATION STAFF SYSTEMS

*Розглянуто актуальні питання розроблення концепції перспективних інформаційних кадрових систем з урахуванням поточного стану відповідного програмного забезпечення та тенденцій розвитку сучасної теорії та практики з управління людськими ресурсами.*

**Ключові слова:** програмне забезпечення, управління людськими ресурсами, інформаційні кадрові системи, інформаційні технології.

*Рассмотрены актуальные вопросы разработки концепции перспективных информационных кадровых систем с учетом текущего состояния соответствующего программного обеспечения и тенденций развития современной теории и практики управления человеческими ресурсами.*

**Ключевые слова:** программное обеспечение, управление человеческими ресурсами, информационные кадровые системы, информационные технологии.

*Actual questions of perspective information staff systems conception developing are considered in the article. Current respective software state and trends of modern human resource control theory and practice had been taken into account answering the questions.*

**Key words:** software, human resource control, information staff system, information technology.

**Постановка проблеми.** Питання концепції перспективних інформаційних кадрових систем (ІКС) управління, моделювання та оцінювання труднощів професійної діяльності людини є доволі складним і відповідь на нього лежить у площині комплексного системного аналізу його складових на предмет відповідності програмних та апаратних засобів вимогам концепції управління людськими ресурсами, яка доволі сильно змінюється в умовах глобалізації ринків праці та економічних криз. Детальному аналізу підлягають такі питання:

1. Прогноз розвитку концепції управління персоналом.

2. Оцінювання сучасного стану інформаційних кадрових систем, їх потенціалу та перспектив розвитку.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Оцінювання сучасного стану методів і інструментальних засобів побудови інтелектуальних систем моделювання та оцінювання складності професійної діяльності людини та перспектив їх розвитку.

4. Комплексне оцінювання пп. 1–3 з погляду відповідності сучасних ІКС та інтелектуальних систем моделювання та оцінювання професійної діяльності людини вимогам, які буде висувати парадигма управління персоналом у найближчій перспективі.

Проблема полягає в тому, що на теперішній час існує велика кількість інформаційних систем та програмного забезпечення [1; 2] для реалізації як локальних задач кадрового менеджменту, так і повного комплексу заходів у межах реалізації кадрової політики підприємства, розроблення якого практично не було пов'язане з перспективними напрацюваннями різних шкіл менеджменту щодо питань перспективного розвитку парадигми управління людськими ресурсами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз останніх досліджень та публікацій [1–3] дає підстави стверджувати про відсутність системного підходу щодо дослідження питання розвитку концепції перспективних інформаційних кадрових систем та систем оцінювання професійної діяльності людини.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз досліджень також дозволив зробити висновок щодо наявних принципів побудови інформаційних кадрових систем у частині реалізації методів управління, які практично відображають поточний стан справ у системах і підходах управління людськими ресурсами, тобто інформаційні системи постійно «наздоганяють» концепції управління. Питання побудови структури перспективної інформаційної кадрової системи практично не вирішувалося ні в одній роботі, основний акцент здебільшого робиться на реалізацію різноманітних методів і методик у межах технологій управління, а не методологій та концепцій.

**Мета статті** – висвітлення питання щодо шляхів розвитку інформаційних кадрових систем та їх інтеграції з системами оцінювання професійної діяльності відповідно до вимог сучасних концепцій управління людськими ресурсами.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо наведені в постановці проблеми питання з погляду системного підходу, тобто виділимо закономірності, які є **формуючими** – такі, що призводять до переходу системи в іншу якість, та закономірності функціонування системи, які стабілізують її наявні якості, тобто закономірності **регулюючі**.

Аналіз еволюції концепцій управління людськими ресурсами [4; 5] дозволяє зробити такі висновки щодо основних формуючих закономірностей у найближчі 5–10 років в умовах глобалізації ринків праці:

1. Повний перехід на концепцію розподіленого робочого простору, тобто створення віртуальних робочих місць з накопичувальним обліком робочого часу, де це будуть дозволяти умови організації виробничих та управлінських процесів.

2. Поступовий перехід до робочих груп, організованих за принципом проектного менеджменту під конкретні проекти в межах чітко визначених часових проміжків та результатів роботи.

3. Перехід на обслуговування консалтинговими компаніями в частині ведення бухгалтерського обліку та управління кадрами, що по суті є однією з складових розподіленого робочого простору.

4. Реалізація пп. 1–3 будуть вимагати чіткої формалізації всіх процесів обміну інформацією, постановки завдань та їх своєчасний контроль.

5. Аналіз та попереднє онлайн-оцінювання робіт (завдань) з метою їх віднесення до певної групи щодо вартості таких робіт з метою переходу до нових принципів оплати праці в межах організації розподіленого робочого простору.

Реалізація розподіленого робочого простору передбачає розширення повноважень співробітників щодо доступу та можливості управління власними персональними даними у межах концепції ESS (employee Self-service) – самообслуговування персоналу.

Умовний алгоритм реалізації концепції розподіленого робочого простору в межах перспективної парадигми управління людськими ресурсами представлений на рис. 1. Формування завдань буде відбуватися в межах розділення процесів на елементарні операції (роботи). Дуже важливим є етап планування та аналізу і попереднього оцінювання одиничних операцій (робіт) з подальшим повідомленням виконавців, використовуючи різноманітні засоби комунікацій: спеціалізоване програмне забезпечення, мобільний зв'язок, електронну пошту, системи електронного документообігу.

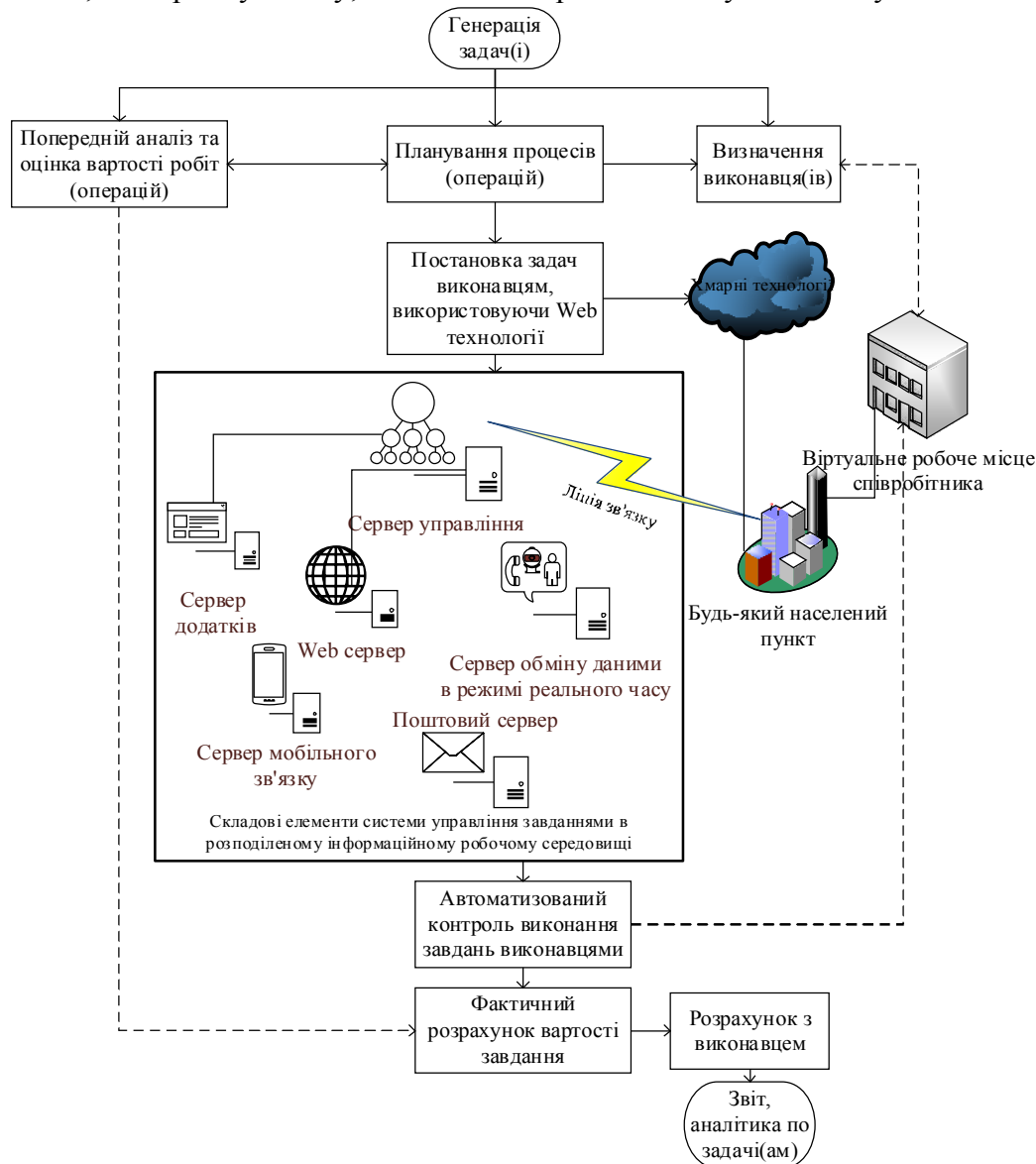


Рис. 1. Концепція розподіленого робочого простору

Повноцінна реалізація перспективної парадигми управління людськими ресурсами висуває відповідні вимоги до програмного та апаратного забезпечення. Зупинимося на основних регулюючих закономірностях, які по суті і будуть визначати напрямки і шляхи подальшого розвитку інформаційних кадрових систем.

Без сумніву, знайде подальший розвиток використання хмарних технологій у процесах комунікацій та організації віртуальних робочих місць, як визначальна технологія.

Хмарні технології (cloud technology) визначають як динамічно масштабований вільний спосіб доступу до зовнішніх обчислювальних інформаційних ресурсів у вигляді сервісів, що надаються за допомогою мережі Інтернет [6]. Також існує поняття по своїй

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

суті синонім – хмарних обчислень (англ. Cloud Computing) [7] як моделі забезпечення повсюдного та зручного доступу на вимогу через мережу до спільного пулу обчислювальних ресурсів, що підлягають налаштуванню (наприклад, до комунікаційних мереж, серверів, засобів збереження даних, прикладних програм та сервісів), і які можуть бути оперативно надані та звільнені з мінімальними управлінськими затратами та зверненнями до провайдера.

Взагалі, хмарні технології являють собою загальний термін для всього, що включає в себе постачання послуги хостингу через Інтернет. Ці послуги, як видно з рис. 1, також знайдуть подальший розвиток у межах віртуалізації робочих місць та можуть бути розділені на три категорії:

1. Програмне забезпечення як послуга (SaaS). Програмне забезпечення як послуга (англ. Software as a service, SaaS) — модель пропозиції програмного забезпечення споживачеві, за якої постачальник розробляє веб-інтерфейс, розміщує його й управляє ним (самостійно або через третіх осіб) з метою та можливістю використання замовниками через Інтернет. За моделлю SaaS постачається апаратна інфраструктура і програмне забезпечення, також розробник забезпечує взаємодію з користувачем через інтерфейс порталу. За допомогою SaaS можуть надаватись самі різноманітні послуги – від веб-пошти до управління запасами, оброблення баз даних.

2. Платформа як сервіс (PaaS). Платформа як обслуга (англ. Platform as a service, PaaS) – це модель обслуговування, в межах якої споживачу надається можливість розгортання на базі хмарної інфраструктури створених ним або придбаних прикладних програм, які розроблені з використанням мов програмування, бібліотек, сервісів та інструментів, наданих хмарним провайдером. Споживач не має змоги керувати й контролювати базову інфраструктуру хмари (до її складу входять комунікаційні мережі, сервери, операційні системи, засоби збереження), проте він контролює розгорнуті прикладні програми та, можливо, налаштування середовища, в якому вони розміщені. PaaS у хмарі визначається як набір програмних продуктів та засобів розроблення, які розміщені на інфраструктурі провайдера.

3. Інфраструктура як послуга (IaaS). Інфраструктура як послуга (англ. Infrastructure as a service, IaaS) – це модель обслуговування, в межах якої споживачу надається можливість керувати засобами оброблення та збереження, комунікаційними мережами та іншими фундаментальними обчислювальними ресурсами, на базі яких споживач може розгорнути та виконувати довільне програмне забезпечення, до складу якого можуть входити операційні системи та прикладні програми. IaaS являє собою віртуальний сервер instance API для запуску, зупинки, доступу, налаштування своїх віртуальних серверів та систем збереження.

4. Не менш інтенсивний розвиток отримує концепція ESS (employee self-service), тобто розширення можливостей робітників управляти персональною інформацією та отримувати всю необхідну інформацію самостійно, використовуючи доступ до ІКС, іншими словами, перехід до самообслуговування. Концепція передбачає передачу частини функцій кадрових служб самим співробітникам.

Таким чином, розвиток парадигми управління персоналом у майбутні 5–10 років буде визначати такі регулюючі закономірності, як активний розвиток хмарних технологій та технологій SaaS, PaaS, IaaS і ESS.

На рис. 2 представлені результати досліджень упровадження ІКС [8] з погляду основних тенденцій щодо доступу до цих процесів та інтеграції на сучасному етапі їх розвитку.

Відповідно до цих досліджень доступ за допомогою веб-браузера впроваджується в 48 % випадків, також основна тенденція полягає в поступовому нарощуванні функціональності – 35 % та інтеграція з галузевими стандартами. Рольовий доступ, хмарні тех-

нології, налаштування «тонкого» клієнта та колективний доступ до даних займає приблизно 15–20 %. Доступ за допомогою веб-браузера вказує на пошук простих рішень щодо доступу до даних компаніями. Навіть у випадках, коли не використовуються хмарні технології, компанії все рівно віддають перевагу доступу з використанням веб-технологій та «тонкого» клієнта. Це ще раз підтверджує абсолютність постулату віртуалізації робочих місць у найближчі 5–10 років.



Рис. 2. Основні сучасні тенденції впровадження ІКС

Також є передбачуваною тенденція щодо модульності систем та поступового нарощування функціональності, що дає змогу компаніям упроваджувати та використовувати тільки необхідні для реалізації фінансово-господарської діяльності модулі з подальшим їх розширенням, а можливості інтеграції дають змогу використовувати програмне забезпечення різних виробників. Дані щодо функціональності, яка найбільше впроваджується на сучасному етапі, представлені на рис. 3. Дані досліджень підтверджують формуючі закономірності в розвитку парадигми управління людськими ресурсами щодо суттєвої частки у найбільш пріоритетних функціоналах модулів, які відповідають за управління та оцінювання продуктивності праці співробітників, що, у свою чергу, вимагає вирішення питання стандартизації та побудови систем і методологій аналізу та професійної діяльності.



Рис. 3. Пріоритети впровадження функціональності

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Не менш важливим показником є створення робочих місць співробітників в ІКС, тобто йдеться не про автоматизовані робочі місця осіб, які відповідають безпосередньо за виконання певних функцій (облік персоналу, розрахунок заробітної плати і т. ін.), а за всіх співробітників з метою створення єдиного розподіленого інформаційного середовища та надання співробітникам можливості брати активну участь в управлінні особистими даними та процесами.

Для розроблення концепції перспективних інтелектуальних інформаційних систем управління, моделювання та оцінювання професійної діяльності людини з погляду системного підходу необхідно здійснити аналіз отриманої в роботі первинної інформації щодо сучасного стану ІКС, методів й інструментальних засобів побудови інтелектуальних систем моделювання та оцінювання професійної діяльності людини та визначити стратегічне розходження між цим станом та бажаним станом ІКС через 5–10 років, виходячи з еволюції парадигми управління людськими ресурсами.

На рис. 4 у вигляді умовної матриці представлені дані щодо розриву між поточним станом ІКС та перспективними напрямками їх розвитку. Так, в умовних стовбцях представлені на верхньому рівні перспективна парадигма управління людськими ресурсами та її складові, а на другому рівні відповідні інформаційні технології, в межах розвитку яких і будуть реалізовані складові парадигми. В умовних рядках представлені групи сучасних ІКС.

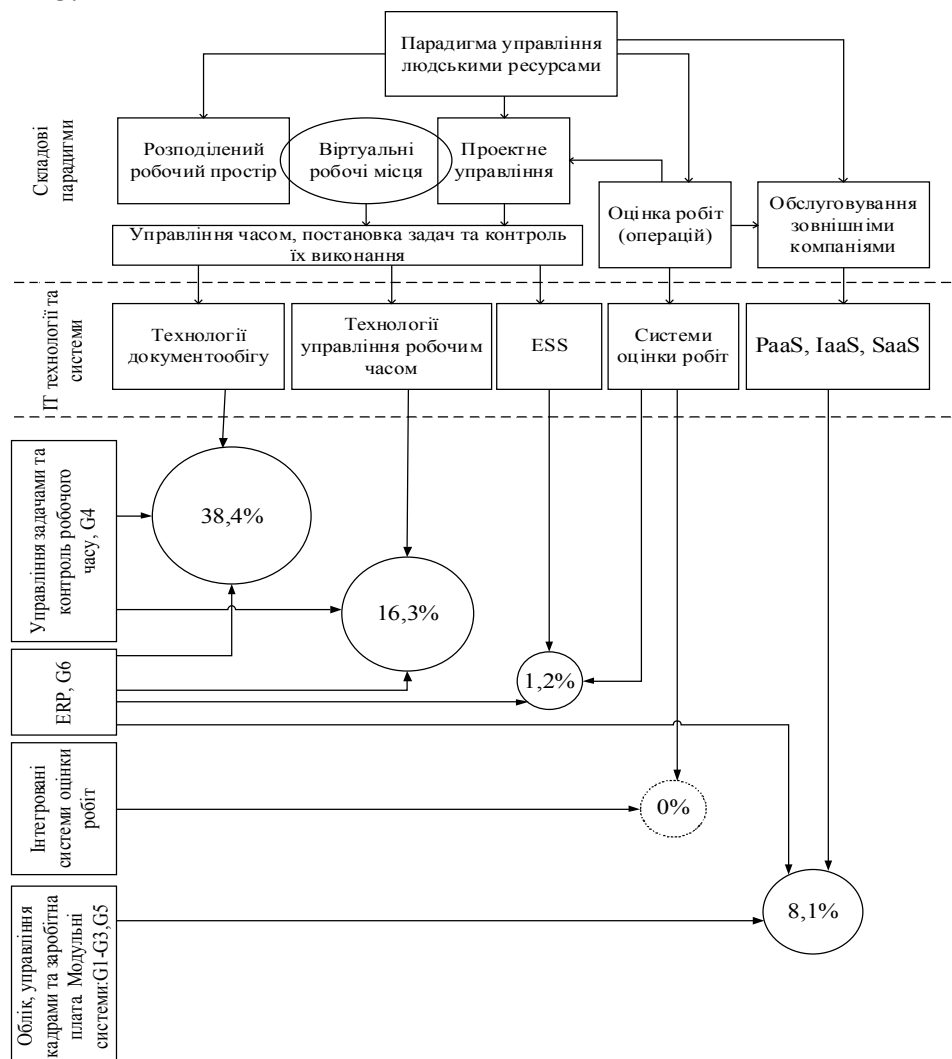


Рис. 4. Аналіз розривів між перспективною парадигмою управління людськими ресурсами та сучасним станом ІКС

Для вирішення задачі пошуку стратегічних розходжень автором використовувалися базові принципи Gap-аналізу як одного з сучасних методів стратегічного планування. Сфера аналізу – інформаційні кадрові системи. Детальний аналітичний огляд ІКС та методів і систем оцінювання професійної діяльності людини, зроблений у роботах [9; 10], дає чітке уявлення про стан поточної ситуації, а розглянуті у статті тенденції щодо подальшого розвитку парадигми управління людськими ресурсами та вимоги, які вона висуває до інформаційних кадрових систем, представлені у цій роботі, дозволяють розробити графічне представлення GAP-аналізу. Виходячи з наведених даних, можна зробити такі висновки відносно напрямків та заходів щодо здійснення переходу від поточного стану ІКС до бажаного відносно перспектив розвитку парадигми управління людськими ресурсами (рис. 5):

1. Технології документообігу, в межах яких реалізується концепція управління задачами і робочим часом, використовуються в 38,4 % наявних ІКС, причому реалізація існує як в окремому класі програмного забезпечення, так і в межах ERP-систем.

2. В окрему групу ІКС виведене програмне забезпечення для реалізації задач управління робочим часом – 16,3 %. Слід зазначити, що перспективи окремого розвитку таких ІКС досить незначні, в зв'язку з чим у найближчі 3–5 років відбудеться їх інтеграція з системами документообігу.

3. Технології самообслуговування співробітників отримали розвиток в останні 3–5 років, тому практична реалізація на теперішній час суттєво відстає від теоретичних наробок і, як результат, такі системи реалізовані більше як експеримент у межах локальних ІКС, ніж прикладні рішення.

4. Реалізація технологій SaaS, PaaS, IaaS (порядку 8,1 %) відбувається повільно, але аналіз динаміки останніми роками вказує на постійно зростаючий попит на зазначені сервіси.

5. Найбільш великий розрив є в напрямку інтеграції систем оцінювання та аналізу професійної діяльності з системами управління людськими ресурсами.

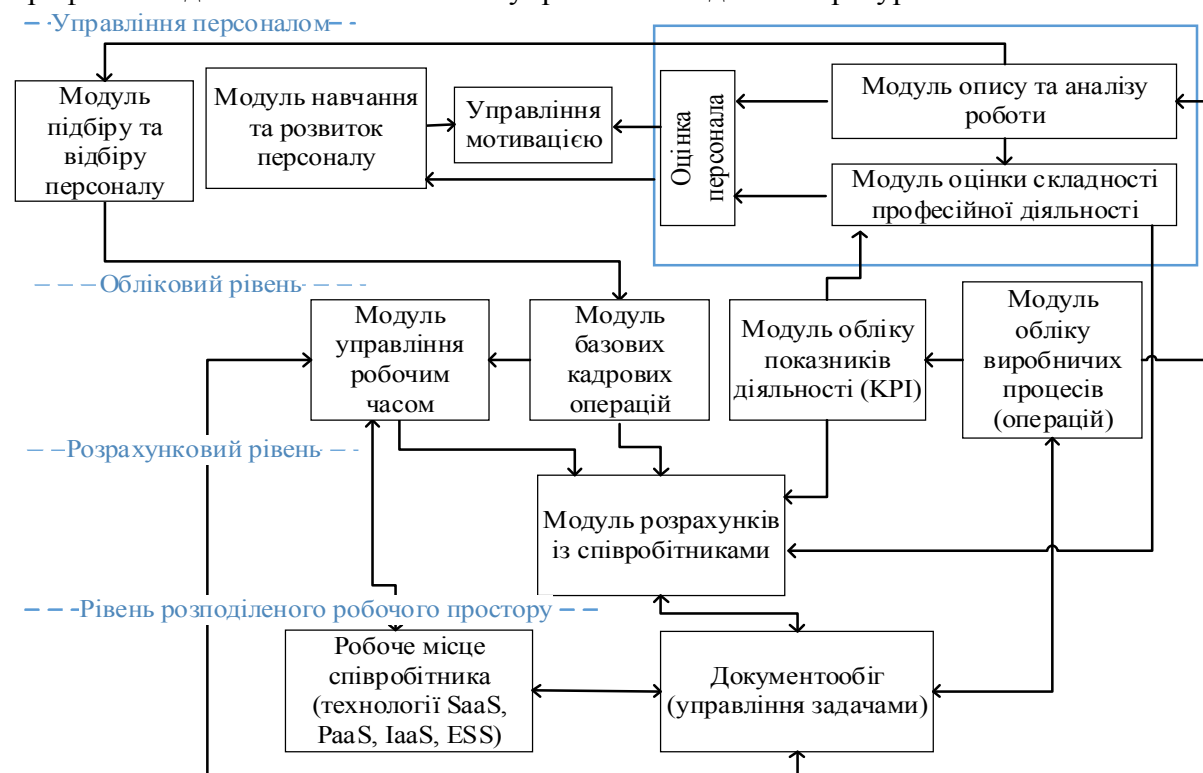


Рис. 5. Структурно-функціональна схема перспективної ІКС

Нині відомо одне рішення в межах системи управління підприємством «Капітал – CSE» [1], яка розроблялася відповідно до вимог, що ставляться до систем класу MPRII та ERP. Алгоритми, реалізовані в модулі «Аналіз посади», дозволяють вносити дані у відповідні довідники щодо кількості та ваги грейдів, а також відповідних компенсуючих факторів. Сам модуль не реалізує алгоритми аналізу й оцінювання даних та взаємозв'язок з іншими модулями системи, а є лише відображенням заздалегідь прийнятих рішень щодо рангу посад, що дозволяє реалізувати тільки їх ранжирування.

**Висновки і пропозиції.** Відсутність практичної реалізації систем моделювання та оцінювання професійної діяльності робіт у межах сучасних ІКС суттєво обмежить розвиток парадигми управління людськими ресурсами в найближчі 5–10 років. Аналітичні дослідження, результати яких наведені у статті, дозволяють зробити висновки про перспективність та актуальність завдання розроблення національного стандарту як теорії та практичної реалізації систем оцінювання складності професійної діяльності. Виходячи з матеріалів аналізу та досліджень, зроблених у статті, перспективна структурно-функціональна схема інформаційної кадрової системи може бути представлена у вигляді основних функціональних блоків та зв'язків між ними з урахуванням реалізації функцій розподіленого робочого простору (рис. 5).

#### Список використаних джерел

1. *Классификация HRM-системы* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/index.php>.
2. *HRM-системы (мировой рынок)* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/index.php>.
3. *Задонцев Ю. В.* Технологія інформаційної підтримки процесів професійного навчання фахівців промислових підприємств : дис. ... канд. техн. наук / Ю. В. Задонцев ; Національний авіаційний університет. – К., 2012. – 150 с.
4. *Менеджмент человеческих ресурсов: обзор. информация / сост. В. И. Яровой ; под ред. Г. В. Щёкина.* – К. : МАУП, 1995. – С. 3–20. – (Библиотека управляющего персоналом: мировой опыт).
5. *Энциклопедия систем мотивации и оплаты труда* : пер. с англ. / под ред. Д. Бергер, Л. Бургера. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2008. – 761 с.
6. *Michael Miller.* Cloud Computing: Web-Based Applications That Change the Way You Work and Collaborate Online. Que Publishing, 2008. – 312 p.
7. *William Y. Chang, Hosame Abu-Amara, Jessica Sanford.* Transforming Enterprise Cloud Services.: Springer, 2010. – 428 p.
8. *TEC-2012-HRM-Market-Survey-Report-What-Organizations-Want-in-Human-Resources-Management-Software* [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.technologyevaluation.com>.
9. *Заріцький О. В.* Класифікація сучасних інформаційних систем моделювання та управління людськими ресурсами / О. В. Заріцький, В. В. Судік // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 1 (77). – С. 98–108.
10. *Заріцький О. В.* Аналітичний огляд методологій та інформаційних систем моделювання та оцінки професійної діяльності людини / О. В. Заріцький // Проблеми інформатизації та управління. – 2015. – № 1 (49). – С. 32–36.

УДК 372.851

**М.К. Ільєнко**, канд. фіз.-мат. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

**Л.А. Руновська**, ст. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**КВАТЕРНІОНИ ЯК МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ:  
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ****М.К. Ильенко**, канд. физ.-мат. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

**Л.А. Руновская**, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**КВАТЕРНИОНЫ КАК МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АПАРАТ КОМПЬЮТЕРНОЙ  
ГРАФИКИ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ****Maryna Iliencko**, PhD in Physical and Mathematical Sciences

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic institute", Kyiv, Ukraine

**Liudmyla Runovska**, senior teacher

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**QUATERNIONS AS MATHEMATICAL TOOLS IN COMPUTER GRAPHICS:  
METHODOLOGICAL ASPECTS**

*Запропоновано тему «Кватерніони» для розгляду на факультативному занятті з вищої математики зі студентами ВНЗ, які навчаються за спеціальністю «Програмування». Стисло задуваючи історичні факти виникнення кватерніонів, акцентовано увагу на застосуваннях теорії кватерніонів у сучасній науці. Зокрема, обґрунтовано, як операція обертання у тривимірному просторі може бути описана за допомогою кватерніонів, що у свою чергу активно застосовується у комп'ютерній графіці. Наведено відповідний математичний апарат в обсязі, який автори вважають достатнім для зацікавлення майбутніх спеціалістів. А саме, введено формальне математичне поняття кватерніона, розглянуто різні форми його представлення та введено відповідні операції над кватерніонами. Стаття методичного характеру.*

**Ключові слова:** кватерніони, обертання у тривимірному просторі, методика викладання вищої математики, програмування ігор.

*Предложена тема «Кватернионы» для рассмотрения на факультативном занятии по высшей математике со студентами ВУЗов, которые учатся на специальности «Программирование». Кратко упоминая исторические факты возникновения кватернионов, акцентировано внимание на приложениях теории кватернионов в современной науке. В частности, обосновано, как вращение в трёхмерном пространстве можно описать с помощью кватернионов, что в свою очередь активно используется в компьютерной графике. Приведен соответствующий математический аппарат в объеме, который авторы считают достаточным для того, чтобы заинтересовать будущих специалистов. А именно, введено формальное понятие кватерниона, рассмотрены различные его представления и операции над кватернионами. Статья носит методический характер.*

**Ключевые слова:** кватернионы, вращение в трёхмерном пространстве, методика преподавания высшей математики, программирование игр.

*In the paper, we propose the topic "Quaternions" to be taught at the lesson on the optional course of higher mathematics to university students who study programming. Briefly following historical facts about invention of quaternions we mention some applications of them in modern science. In particular, we explain how the rotation in three-dimensional space can be described by means of quaternions. This is widely used in computer graphics. The appropriate mathematical background is given to the extent which, on authors' opinion, is sufficient to make interest for future specialists. In the main part of the paper we give formal mathematical definition of quaternion, consider its various interpretations, and introduce operations with quaternions. The article has a methodological nature.*

**Key words:** quaternions, rotation in three-dimensional space, methods of teaching higher math, games programming.

*Винахід кватерніонів – крок вперед до розуміння величин, пов'язаних з простором; він рівний за своїм значенням з винаходом Декарта системи координат.*  
Дж. Максвелл

*Це була революція в арифметиці, подібна тій, яку вчинив Лобачевський у геометрії.*  
А. Пуанкаре

**Вступ.** Разом із неймовірно стрімким розвитком інформаційних технологій та проникненням комп'ютерної техніки у всі сфери людського життя, однією з найбільш по-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

пулярних та затребуваних професій у світі, і в Україні зокрема, стає професія програміста. Ця професія передбачає постійний розвиток, самоосвіту та підвищення кваліфікації як уже дипломованих та кваліфікованих програмістів, так і викладачів вищих навчальних закладів, які випускають майбутніх фахівців. Зустрічаючи у своїй професійній діяльності цілеспрямованого та допитливого студента, викладач чи то загальноосвітньої чи то спеціальної дисципліни має бути готовим відповісти на будь-які запитання свого профілю. Одне з таких запитань студента-програміста I курсу надихнуло авторів статті запропонувати для факультативного заняття з вищої математики тему «Кватерніони».

Як відомо, у програмуванні ігор важливим завданням є поворот об'єкта у тривимірному просторі. Порівняно з використанням матриць перетворень для обертання об'єкта кватерніони дозволяють вирішувати це завдання більш зручним способом, оскільки безпосередньо задають вісь та кут обертання. Для того, щоб показати, яким чином задається операція обертання у тривимірному просторі, пропонується розглянути зі студентами на додатковому занятті кватерніони як математичне поняття. Зацікавлені молоді люди без проблем зможуть знайти додаткову інформацію стосовно відповідних команд для програмування повороту об'єкта, зокрема у мережі Інтернет.

У цій статті не будемо зупинятися на множині комплексних чисел та її властивостях. Лише нагадаємо, що комплексне число, тобто пара дійсних чисел, задає обертання на площині. Дійсно, якщо помножити комплексне число  $z$  на комплексне число  $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$ , модуль якого дорівнює одиниці, то отримаємо число  $ze^{i\varphi}$ , яке має однаковий із  $z$  модуль, але повернуто на кут  $\varphi$  відносно початку координат. Таким чином, роль комплексних чисел у геометрії площини величезна. Впродовж багатьох років учені, натхненні «корисними» властивостями комплексних чисел, намагалися ввести алгебру «гіперкомплексних чисел», які б забезпечували аналогічну операцію обертання у тривимірному просторі. Так, введення поняття кватерніона належить ірландському математику Вільяму Гамільтону, який упродовж декількох років також намагався узагальнити множину комплексних чисел до множини «трійок». Проте у 1843 році він запропонував новий вид чисел – «четвірки», що містили у своєму записі не дві, як очікувалося, а три уявні одиниці. Пізніше німецьким математиком Фробеніусом було доведено, що розширити множину комплексних чисел неможливо до множини чисел, які містять у своєму записі дві уявні одиниці.

Незважаючи на те, що порівняно із комплексними числами кватерніони втратили властивість комутативності, досить швидко з'ясувалося, що така модель є корисною у деяких прикладних галузях. У сучасній науці кватерніони знайшли своє застосування у комп'ютерній графіці та програмуванні ігор [3], обчислювальній механіці [2; 4], інерційній навігації та теорії управління [5].

У цій роботі розглянемо поняття кватерніона з математичного погляду в тому обсязі, який вважаємо достатнім для одного факультативного заняття з вищої математики зі студентами-програмістами. Зміст статті буде корисним для викладачів математики як основа додаткового заняття із запропонованої теми, яка за бажанням може бути розширена додатковими відомостями, результатами та застосуваннями.

**Поняття кватерніона та різні форми його запису.** *Кватерніоном* (наприклад, [1; 6; 7]) є впорядкована четвірка дійсних чисел  $(s, a, b, c)$ , які пов'язані з чотирма базисними елементами  $\mathbf{1}, \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ , що задовольняють такі властивості:

$$\mathbf{i}^2 = \mathbf{j}^2 = \mathbf{k}^2 = -1, \quad (1)$$

$$\mathbf{ij} = \mathbf{k}, \quad \mathbf{jk} = \mathbf{i}, \quad \mathbf{ki} = \mathbf{j}, \quad (2)$$

$$\mathbf{ji} = -\mathbf{k}, \quad \mathbf{kj} = -\mathbf{i}, \quad \mathbf{ik} = -\mathbf{j}. \quad (3)$$

Зауважимо, що базисні елементи (уявні одиниці)  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$ ,  $\mathbf{k}$  можна інтерпретувати як базисні вектори декартової системи координат у тривимірному просторі. Підкреслимо також, що множення базисних елементів здійснюється як векторне множення векторів тривимірного простору за винятком правила (1). Таким чином, будь-який кватерніон можна записати у вигляді:

$$Q = s + a\mathbf{i} + b\mathbf{j} + c\mathbf{k}.$$

У такому записі кватерніона виділяють скалярну частину  $S$  та векторну частину  $\mathbf{v} = a\mathbf{i} + b\mathbf{j} + c\mathbf{k}$ , тобто

$$Q = s + \mathbf{v}.$$

Зокрема, якщо  $s = 0$ , то кватерніон інтерпретується як вектор  $\mathbf{v} = a\mathbf{i} + b\mathbf{j} + c\mathbf{k}$  у тривимірному просторі.

Враховуючи співвідношення (1)–(3), довільний кватерніон можна також представити у вигляді пари комплексних чисел

$$Q = (s + a\mathbf{i}) + (b + c\mathbf{i})\mathbf{j},$$

або  $Q = z_1 + z_2\mathbf{j}$ , де  $z_1 = (s + a\mathbf{i})$  та  $z_2 = (b + c\mathbf{i})$  – комплексні числа.

Множину кватерніонів, як правило, позначають літерою  $H$  та записують

$$H = \{s + a\mathbf{i} + b\mathbf{j} + c\mathbf{k}, s, a, b, c \in R\}.$$

Підкреслимо, що підмножиною множини кватерніонів  $H$  є множина чисел виду  $(s, 0, 0, 0)$ , тобто множина дійсних чисел  $R$ ; множина чисел виду  $(s, a, 0, 0)$ , тобто множина комплексних чисел  $C$ ; та множина векторів  $(0, a, b, c)$  тривимірного простору  $R^3$ .

**Дії над кватерніонами.** Нехай задано два кватерніони  $Q_1 = s_1 + a_1\mathbf{i} + b_1\mathbf{j} + c_1\mathbf{k} = s_1 + \mathbf{v}_1$  та  $Q_2 = s_2 + a_2\mathbf{i} + b_2\mathbf{j} + c_2\mathbf{k} = s_2 + \mathbf{v}_2$ . Для них вводяться такі операції (наприклад, [1]).

1) *Додавання.* Під час додавання кватерніонів окремо додаються його скалярна та векторна компоненти:

$$Q_1 + Q_2 = (s_1 + s_2) + (\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2).$$

2) *Множення кватерніона на скаляр.* Під час множення кватерніона на число  $\lambda$ , кожна його компонента множиться на це число:

$$\lambda Q_1 = \lambda s_1 + \lambda a_1\mathbf{i} + \lambda b_1\mathbf{j} + \lambda c_1\mathbf{k} = \lambda s_1 + \lambda \mathbf{v}_1.$$

3) *Добуток кватерніонів.* Добуток двох кватерніонів вводиться за допомогою звичайних дистрибутивних законів з урахуванням співвідношень (1)–(3), і визначається таким чином:

$$\begin{aligned} Q_1 Q_2 &= (s_1 + a_1\mathbf{i} + b_1\mathbf{j} + c_1\mathbf{k})(s_2 + a_2\mathbf{i} + b_2\mathbf{j} + c_2\mathbf{k}) = s_1 s_2 + s_1 a_2\mathbf{i} + s_1 b_2\mathbf{j} + s_1 c_2\mathbf{k} + a_1 s_2\mathbf{i} - \\ &- a_1 a_2 + a_1 b_2\mathbf{k} - a_1 c_2\mathbf{j} + b_1 s_2\mathbf{j} - b_1 a_2\mathbf{k} - b_1 b_2 + b_1 c_2\mathbf{i} + c_1 s_2\mathbf{k} + c_1 a_2\mathbf{j} - c_1 b_2\mathbf{i} - c_1 c_2 = \\ &= s_1 s_2 + s_2 \mathbf{v}_1 + s_1 \mathbf{v}_2 - a_1 a_2 + a_1 b_2\mathbf{k} - a_1 c_2\mathbf{j} - b_1 a_2\mathbf{k} - b_1 b_2 + b_1 c_2\mathbf{i} + c_1 a_2\mathbf{j} - c_1 b_2\mathbf{i} - c_1 c_2 = \\ &= s_1 s_2 + s_2 \mathbf{v}_1 + s_1 \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 + \mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2, \end{aligned}$$

де  $\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2$  та  $\mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2$  є звичайними операціями скалярного та векторного добутку векторів відповідно. Таким чином, добуток двох кватерніонів є також кватерніоном. При цьому операція множення не є комутативною, тобто в загальному випадку  $Q_1 Q_2 \neq Q_2 Q_1$ .

4) *Спряження*. Кватерніон  $\bar{Q} = s - (ai + bj + ck)$  називають спряженим до кватерніона  $Q = s + ai + bj + ck$ . При цьому неважко переконатися, що

$$Q\bar{Q} = s^2 + a^2 + b^2 + c^2. \tag{4}$$

Величину  $\sqrt{Q\bar{Q}} = \sqrt{s^2 + a^2 + b^2 + c^2}$  називають *модулем* кватерніона і позначають  $|Q|$ . Якщо модуль кватерніона дорівнює одиниці, кватерніон називають *одиничним*.

5) *Обернення*. Оберненим до кватерніона  $Q$  називається кватерніон  $Q^{-1}$  такий, що  $QQ^{-1} = Q^{-1}Q = 1$ .

З (4) випливає, що  $Q^{-1} = \frac{\bar{Q}}{|Q|^2}$ .

**Зауваження 1.** Цікавим є те, що кожному кватерніону  $Q = s + ai + bj + ck$  можна однозначно поставити у відповідність дійснозначну квадратну матрицю

$$\begin{pmatrix} s & -a & -b & -c \\ a & s & -c & b \\ b & c & s & -a \\ c & -b & a & s \end{pmatrix}.$$

При цьому сумі кватерніонів, їх добутку та спряженому кватерніону будуть відповідати сума матриць, їх добутки та транспонована матриця.

**Операція обертання в тривимірному просторі.** Розглянемо уявний (це означає  $s = 0$ ) одиничний кватерніон

$$U = xi + yj + zk,$$

тобто довільний одиничний вектор  $(x, y, z)$  з  $R^3$ . Тоді для будь-якого кута  $\varphi$

$$\cos \varphi + U \sin \varphi$$

також одиничний кватерніон, який за аналогією з формулою Ейлера можна записати у вигляді  $e^{U\varphi}$ .

**Теорема 1.** (наприклад, [6; 7]) Якщо  $U = xi + yj + zk$  – одиничний вектор (одиничний уявний кватерніон), а  $V$  – довільний вектор з  $R^3$ , то вираз

$$e^{U\varphi} V e^{-U\varphi}$$

задає обертання вектора  $V$  навколо осі, напрямленої за вектором  $U$ , на кут  $2\varphi$ .

**Доведення.** Розкриємо дужки у виразі

$$e^{U\varphi} V e^{-U\varphi} = (\cos \varphi + U \sin \varphi) V (\cos \varphi - U \sin \varphi)$$

за правилом множення кватерніонів. Отримаємо, що

$$e^{U\varphi} V e^{-U\varphi} = (\cos^2 \varphi) V + (\sin \varphi \cos \varphi)(UV - VU) - (\sin^2 \varphi) UVU.$$

Далі окремо знаходимо, що

$$UV = U \times V - U \cdot V, \quad VU = -U \times V - U \cdot V,$$

$$UVU = -2(U \cdot V)U + V(U \cdot U),$$

де символами  $\times$  та  $\cdot$  позначено відповідно векторний та скалярний добуток векторів. Отже,

$$\begin{aligned}
e^{U\varphi} V e^{-U\varphi} &= (\cos^2 \varphi) V + 2(\sin \varphi \cos \varphi)(U \times V) + 2(\sin^2 \varphi)(U \cdot V)U - V(U \cdot U)(\sin^2 \varphi) = \\
&= (\cos 2\varphi) V + (\sin 2\varphi)(U \times V) + U(U \cdot V)(1 - \cos 2\varphi) = \\
&= (\cos 2\varphi)(V - U(U \cdot V)) + (\sin 2\varphi)(U \times V) + U(U \cdot V) = \\
&= (\cos 2\varphi) V_{\perp} + (\sin 2\varphi)(U \times V) + V_{\parallel},
\end{aligned}$$

де  $V_{\parallel} = U(U \cdot V)$  – компонента вектора  $V$ , яка паралельна до осі  $U$ , а  $V_{\perp} = V - U(U \cdot V)$  – компонента вектора  $V$ , яка перпендикулярна до осі  $U$ . В останньому неважко переконатися, якщо взяти скалярний добуток вектора  $U$  і  $V_{\perp} = V - U(U \cdot V)$ . Зауважимо також, що вектор  $U \times V$  перпендикулярний до осі  $U$  і, крім того,  $V_{\perp}$  і  $U \times V$ , є перпендикулярними між собою. Таким чином, отримуємо формулу обертання вектора  $V$  навколо осі  $U$  на кут  $2\varphi$  відповідно.

**Зауваження 2.** Щоб повернути вектор  $V$  на кут  $\varphi$ , необхідно до вектора  $V$  застосувати операцію  $e^{\frac{U\varphi}{2}} V e^{-\frac{U\varphi}{2}}$ . Для того, щоб послідовно зробити два повороти вектора  $V$ , наприклад, спочатку на кут  $\alpha$  навколо осі, напрямленої за  $U_1$ , а потім на кут  $\beta$  навколо осі, напрямленої за  $U_2$ , до вектора  $V$  потрібно застосувати операцію  $e^{\frac{U_2\beta}{2}} e^{\frac{U_1\alpha}{2}} V e^{-\frac{U_1\alpha}{2}} e^{-\frac{U_2\beta}{2}}$ .

Підкреслимо, що кватерніони – надзвичайно зручний апарат для програмування обертання об'єкта у тривимірному просторі. Це пов'язано з тим, що кватерніон описує безпосередньо геометричні властивості обертання: вісь обертання та кут обертання. Наприклад, для розв'язання задач скелетної анімації пропонується використовувати комбінований підхід: задавати перетворення набором – кватерніон, коефіцієнти масштабування, перенос, а зберігання і перетворення виконувати у вигляді матриці переходу. За потреби відповідні алгоритми програмування зацікавлені студенти можуть легко знайти у багатьох посібниках з програмування або мережі Інтернет.

**Висновки.** У статті наведено основні математичні відомості про кватерніони, а саме поняття, різні форми представлення та операції над ними. Окрема увага приділяється описанню операції обертання у тривимірному просторі, що у свою чергу активно застосовується у комп'ютерній графіці.

#### Список використаних джерел

1. Ватульян А. О. Кватернионы / А. О. Ватульян // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 5. – С. 117–120.
2. Виттенбург Й. Динамика систем твёрдых тел / Й. Виттенбург. – М. : Мир, 1980. – 292 с.
3. Побегайло А. П. Применение кватернионов в компьютерной геометрии и графике / А. П. Побегайло. – Минск : Изд-во БГУ, 2010. – 216 с.
4. Погорелов Д. Ю. Введение в моделирование динамики систем тел / Д. Ю. Погорелов. – Брянск : Изд-во БГТУ, 1997. – 156 с.
5. Чуб В. Ф. Уравнения инерциальной навигации и кватернионная теория пространства-времени / В. Ф. Чуб // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – 2007. – Т. 4, № 1(7). – С. 133–140.
6. Hamilton W. R. Elements of Quaternions / W. R. Hamilton // Chelsea Publishing Company, third edition. – Vol. I. – 1969.
7. John H. Conway On quaternions and octonions: Their geometry, arithmetic, and symmetry / Conway John H., Smith Derek A. – Natick : A K Peters, Ltd. – 2003. – 159 p.

УДК 528.4

**І.В. Корнієнко**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**СПОСІБ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ  
ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК****И.В. Корниенко**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ  
ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ****Ihor Korniienko**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**METHOD OF AUTOMATION OF PROCESS OF EXPERT ASSESSMENT OF LAND**

*Розглянуто проблему автоматизації експертного оцінювання земельних ділянок. Запропоновано механізм та математичний апарат для автоматизованої системи експертного оцінювання земель.*

**Ключові слова:** експертна оцінка, земельні ділянки, автоматизація, вагові коефіцієнти.

*Рассмотрена проблема автоматизации экспертного оценивания земельных участков. Предложен механизм и математический аппарат для автоматизированной системы экспертного оценивания земель.*

**Ключевые слова:** экспертная оценка, земельные участки, автоматизация, весовые коэффициенты.

*Considers the problem of automation of expert assessment of land plots. Proposes a framework and mathematical apparatus for the automated system of expert assessment of land.*

**Key words:** expert estimation, land, automation, weights.

**Постановка проблеми.** Запровадження ринку землі та ефективність його функціонування однозначно пов'язані з питаннями об'єктивності та неупередженості експертної оцінки земельних ресурсів. Методика експертної грошової оцінки земельних ділянок [1], в цілому, передбачає їх оцінювання на базі ринкової вартості аналогічних земельних ділянок з урахуванням багатьох чинників (місце розташування, екологія, конфігурація, наявність інженерних комунікацій, обмеження тощо), які роблять земельну ділянку привабливіше для покупця або навпаки. Але, незважаючи на вживану загальноприйнятну методику, результати оцінювання різними експертами того самого об'єкта можуть суттєво різнитися, що свідчить про наявність фактора суб'єктивізму в рішенні експерта. Звідси виникає питання забезпечення об'єктивності експертної оцінки земель. Одним із шляхів подолання такої проблеми може бути застосування математичних методів ранжування пріоритетності земельних ділянок, реалізованих в оціночних геоінформаційних системах (ГІС).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками питання, присвячені проблемам оцінювання земель в Україні, висвітлюються у багатьох наукових працях вітчизняних учених, серед яких можна відзначити О.Ф. Балацького, П.В. Веденічева, Д.І. Гнатковича, В.В. Горлачука, Г.О. Гуцуляка, Б.М. Данилишина, Д.С. Добряка, С.І. Дорогунцова, І.І. Лукінова, Т.П. Магазинщикова, П.П. Маракуліна, А.Г. Мартина, Л.Г. Мельника, І.Р. Михасюка, Л.Я. Новаковського, П.Ф. Пасхавер, І.А. Розумного, П.Т. Саблук, А.М. Третяк, М.М. Федорова, Б.З. Харченка, О.М. Шпичака та інших.

Для масового нормативного оцінювання земель успішно використовуються декілька програмних комплексів, серед яких найбільшпоширеним є LPS, що також певною мірою використовується як інформаційна підтримка для експертної оцінки. Водночас залишається недостатньо дослідженим питання можливості автоматизації експертної оцінки земель.

**Мета статті.** Розроблення механізму та математичного апарата для автоматизації процесу експертного оцінювання земельних ділянок.

**Виклад основного матеріалу.** В колі експертів з оцінювання землі та нерухомості вважається, що експертна оцінка земель є більше мистецтвом, ніж зведенням чітких правил та алгоритмів. Проте відомо, що прийняття рішення експертом здійснюється на основі уявлень про «привабливість» земельної ділянки (для того чи іншого використан-

ня) та статистики ринкової вартості аналогічних за характеристиками земельних ділянок (еталонів). Властивість «привабливості» пов'язана з множиною характеристик, що виділяють об'єкт оцінювання серед інших (наприклад, для міста – це місце розташування ділянки, конфігурація, розвиненість інженерних мереж, під'їзні шляхи, обмеження тощо) і робить земельну ділянку дорожче або дешевше. Справедливо, що в основу механізму автоматизованої оцінки також має бути покладена властивість «привабливості» об'єкта оцінювання, що виражена певними числовими значеннями або коефіцієнтами.

Для визначення цих коефіцієнтів пропонується підхід, що ґрунтується на зваженості характеристик оцінюваних земельних ділянок, посиленних, або послаблених чинниками зацікавленості покупців, і орієнтування вартості оцінюваної земельної ділянки відносно середньої комерційної вартості одиниці площі земельної ділянки в межах населеного пункту. Схематично механізм автоматизованої оцінки ринкової вартості земельної ділянки можна представити такою, дещо спрощеною схемою (рис. 1).

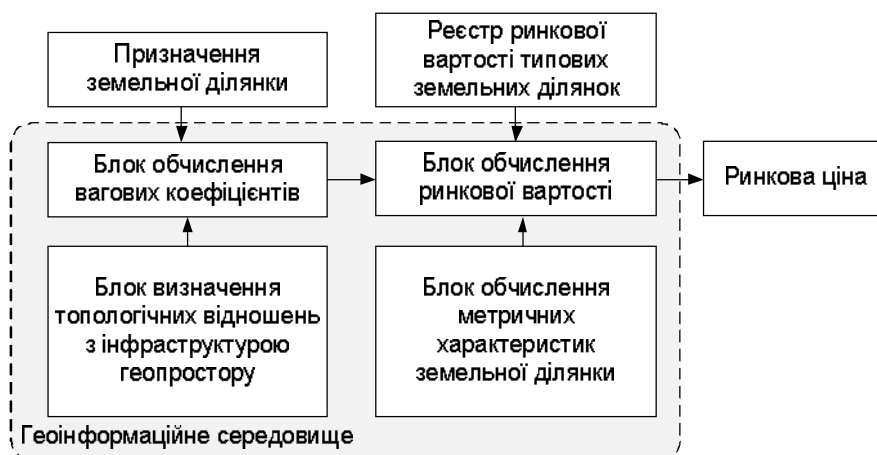


Рис. 1. Блок-схема механізму автоматизованого визначення ринкової вартості земельної ділянки

Блок обчислення вагових коефіцієнтів відповідає за обчислення привабливості земельної ділянки на основі її топологічних відношень до об'єктів геопростору і відповідного цільового призначення. Для розв'язування цієї задачі можна провести дослідження кореляції групи чинників «привабливості» земельної ділянки та встановленої експертами ринкової вартості. Визначення коефіцієнтів кореляції диференціює земельні ділянки відносно різних чинників зацікавленості, як-то віддаленість від центру міста, наявність комунікації та під'їзних шляхів, забрудненість тощо.

Кінцева вартість ґрунтуватиметься на інтегруванні результатів оброблення реєстру ринкових цін на земельні ділянки, метричних характеристиках земельної ділянки і визначених коефіцієнтів «привабливості» земельної ділянки.

Основна складність розв'язування цієї задачі полягає у проблемності об'єктивного визначення впливу на «привабливість» групи різноманітних чинників  $M \in \{m_1, m_2, \dots, m_{k-1}, m_k\}$ , які визначаються різноплановими, несумісними між собою числовими показниками. В [2] запропоновано визначення таких чинників у подібній, але іншій задачі, через певний ваговий коефіцієнт  $\omega_i$ , для  $i$ -ї земельної ділянки, який визначається множиною чинників  $\{m_1, m_2, \dots, m_{k-1}, m_k\}$ , причому  $0 \leq \omega_i \leq 1$ . Тоді для нашої задачі визначальна вартість одиниці площі будь-якої  $i$ -ї земельної ділянки буде визначатися, як  $c_i = \omega_i \bar{C}$ , де  $\bar{C}$  – середня вартість одиниці площі земельної ділянки, яка береться за еталон. Коефіцієнт вартості земельної ділянки  $\omega_i$  має складатися з часткових коефіцієнтів вартості за  $k$ -м чинником впливу –  $\omega_i^{m_k}$ , тобто  $\omega_i = \{\omega_i^{m_k}\}$ .

Очевидно, що чинники впливу не є рівнозначними для формування вартості земельної ділянки, тому введемо коефіцієнт зацікавленості покупців у прояві  $\omega_i$  на оцінювану  $i$ -ту земельну ділянку –  $g_k$  за  $k$ -м чинником впливу  $m_k$ . Природно, що переважність чинників впливу можна визначати коефіцієнтом

$$g_k = \frac{c_k}{\sum_{k=1}^K c^k}; \sum_{k=1}^K g_k = 1; 0 < g_k \leq 1, \tag{1}$$

де  $c_k$  – експертна оцінка переважності  $k$ -го чинника, що дозволяє здійснювати згортку часткових вагових коефіцієнтів чинників впливу. Тоді ваговий коефіцієнт  $\omega_i^M$  для  $i$ -ї земельної ділянки має визначатися як згортка часткових вагових коефіцієнтів  $\omega_i^{m_k}$ , які чинять вплив на вартість земельної ділянки відповідних чинників  $m_k$

$$\omega_i^M = \sum_{k=1}^K g_k \omega_i^{m_k}; 0 < g_k \leq 1; \sum_{k=1}^K g_k = 1. \tag{2}$$

Для уникнення суб’єктивізму у значенні  $c_k$  під час обчислення часткових вагових коефіцієнтів можна дослідити вибіркові коефіцієнти кореляції статистичних варіаційних рядів вартості земельних ділянок і групи чинників впливу  $M$ . Варіаційні ряди при цьому формуються з показників групи чинників впливу і результатів експертної оцінки земельних ділянок. У подальшому здійснюється трансформування кореляційних таблиць варіаційних рядів у кореляційні таблиці умовних варіантів, обчислюється вибірковий коефіцієнт кореляції для множини досліджуваних варіаційних рядів і характеризуються отримані значення вибіркового коефіцієнта кореляції варіаційних рядів статистичних наборів. Отримані коефіцієнти кореляції будуть об’єктивно визначати вплив того чи іншого чинника впливу на рішення експерта і можуть використовуватися як вагові коефіцієнти під час проведення автоматизованої оцінки.

Для підтвердження висунутих припущень було проведено дослідження залежності оцінок експертів від проявів чинників привабливості земельних ділянок, а відповідно і об’єктивності виконання експертної оцінки. Дослідження проводились на основі реальних матеріалів експертної оцінки земель. При цьому експертами були відібрані основні чинники впливу, які враховуються ними під час оцінювання. Для об’єктивності експерименту було випадковим чином відібрано матеріали оцінювання (всього відібрано 12 земельних ділянок), за якими були побудовані графіки якісної кореляції між варіаційними рядами. Формування графіків здійснювалося на основі розподілу випадкових величин, які наведені у табл. 1.

Таблиця 1

*Згруповані відносні показники вартості земельних ділянок та їх характеристики*

Клас	Інтервал	№ земельної ділянки	Вартість зем. діл.		Місце розташування (зона)		Конфігурація		Інфраструктура (під’їзні шляхи)		Інфраструктура (мережі)		Забудована площа	
			Абс.	Відн.	Абс.	Відн.	Абс.	Відн.	Абс.	Відн.	Абс.	Відн.	Абс.	Відн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2–12	10	3	1,15	4	7,84	4	11	1	2,17	1	2,33	1	3,45
		6	11	4,2	2	3,92	2	6	4	8,695	6	13,95	1	3,448
<b>У класі 1</b>		<b>2</b>	<b>14</b>	<b>5,3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>10,88</b>	<b>7</b>	<b>16,28</b>	<b>2</b>	<b>6,897</b>
2	16–20	5	17	6,49	5	9,8	4	11	4	8,695	5	11,63	3	10,34
		7	19	7,25	1	1,96	4	11	5	10,87	5	11,63	5	17,24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>У класі 2</b>		<b>2</b>	<b>36</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>23</b>	<b>9</b>	<b>19,57</b>	<b>10</b>	<b>23,26</b>	<b>8</b>	<b>27,59</b>
3	21–24	1	22	8,41	3	5,88	2	6	4	8,695	1	2,325	4	13,79
		4	23	8,78	2	3,92	2	6	4	8,7	4	9,3	1	3,45
<b>У класі 3</b>		<b>2</b>	<b>45</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>9,8</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>17,39</b>	<b>5</b>	<b>11,63</b>	<b>5</b>	<b>17,24</b>
4	25–33	8	26	9,92	5	9,8	1	3	4	8,7	1	2,33	1	3,45
		9	26	9,92	4	7,84	1	3	4	8,7	1	2,33	1	3,45
		12	27	10,3	4	7,84	2	6	4	8,695	3	6,976	3	10,34
		2	28	10,7	5	9,8	5	14	4	8,695	4	9,302	5	17,24
		11	28	10,7	3	5,88	3	9	4	8,695	3	6,976	3	10,34
		3	32	12,2	5	9,8	5	14	4	8,7	3	6,98	1	3,45
<b>У класі 4</b>		<b>6</b>	<b>167</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>67</b>	<b>17</b>	<b>49</b>	<b>24</b>	<b>52,17</b>	<b>17</b>	<b>48,84</b>	<b>13</b>	<b>48,28</b>
<b>Всього</b>		<b>12</b>	<b>262</b>	<b>70,3</b>	<b>51</b>	<b>100</b>	<b>35</b>	<b>89</b>	<b>46</b>	<b>100</b>	<b>43</b>	<b>100</b>	<b>29</b>	<b>100</b>

На рис. 2 наведені графіки якісної кореляції між варіаційними рядами «вартість земельної ділянки» – «місце розташування» (рис. 2, а – очевидна наявність кореляції між варіаційними рядами, причому кореляція має позитивний тип), «вартість земельної ділянки» – «конфігурація земельної ділянки» (рис. 2, б – визначення типу кореляції ускладнено через суттєвий розкид значень, проте очевидно, що якщо кореляція і є, то її значення не суттєве), «вартість земельної ділянки» – «інфраструктура (під'їзні шляхи)» (рис. 2, в – незважаючи на наближеність залежності до лінійного характеру, горизонтальне спрямування цієї залежності дозволяє зробити висновок про практичну відсутність кореляції між варіаційними рядами), «вартість земельної ділянки» – «інфраструктура (мережі)» (рис. 2, г – незважаючи на наближеність залежності до лінійного характеру, горизонтальне спрямування цієї залежності дозволяє зробити висновок про практичну відсутність кореляції між варіаційними рядами) і «вартість земельної ділянки» – «забудована площа» (рис. 2, д – відстежується певна позитивна кореляція).

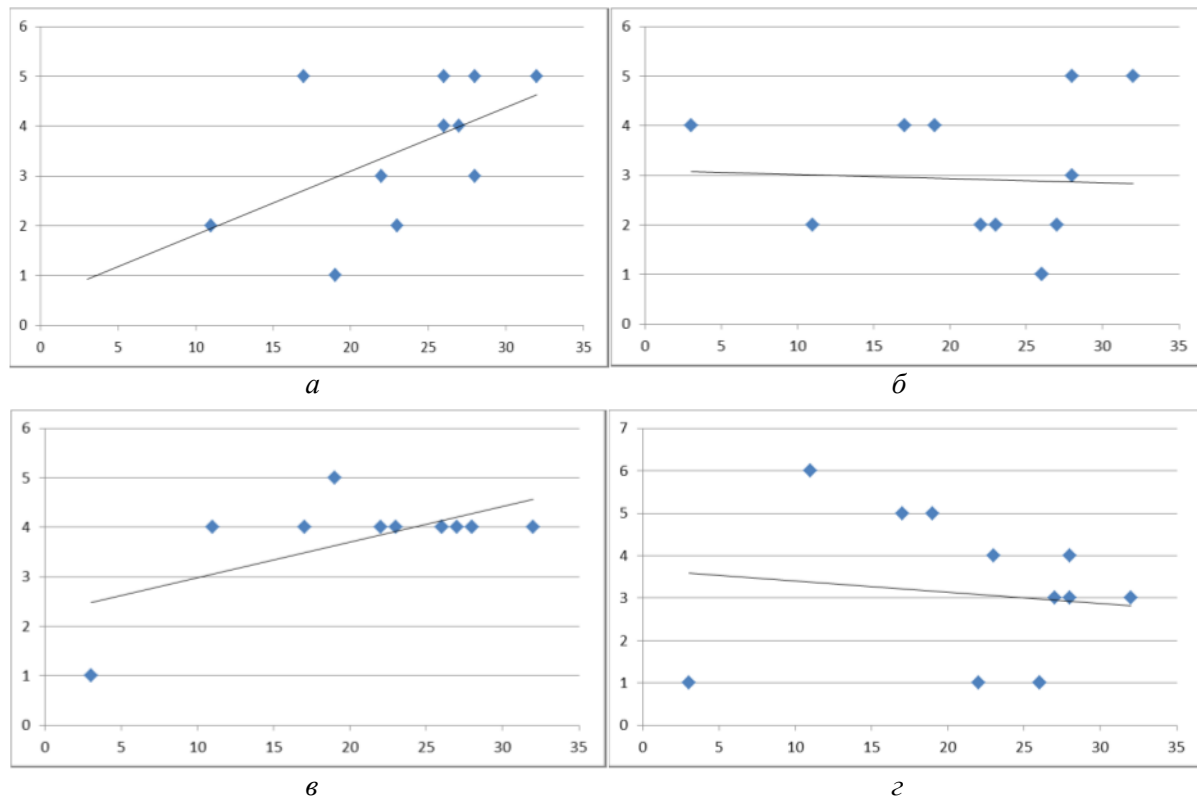


Рис. 2. Графіки якісної кореляції між варіаційними рядами



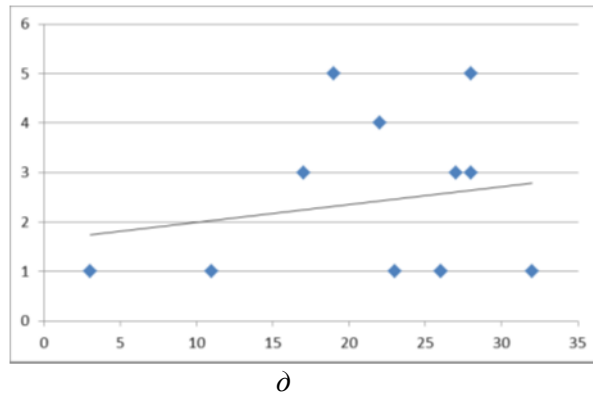


Рис. 2. Закінчення (див. також с. 132)

Числові значення коефіцієнтів кореляції між експертною оцінкою та чинниками впливу наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Упорядкований ряд значень вибіркового коефіцієнту кореляції між варіаційними рядами чинників впливу і вартістю земельної ділянки

Чинник впливу	Відносний коефіцієнт кореляції чинника впливу й оцінки експерта
Місце розташування (зона)	0,704
Інфраструктура (під'їзні шляхи)	0,475
Конфігурація	0,331
Інфраструктура (мережі)	0
Забудована площа	-0,233

Проведене дослідження підтвердило, що в рішеннях та оцінках експертів наявний фактор суб'єктивізму. Чітка залежність «прояв привабливості» – «вартість землі» відстежувалася лише для чинника «місце розташування земельної ділянки». Решта параметрів мали суттєвий розкид. Зрозуміло, що для одержання більш точних оцінок коефіцієнта кореляції вибірка даних має бути набагато більшою, проте на цьому етапі завдання ставилося, щоб дослідити можливість застосування пропонованого механізму для автоматизації експертної оцінки.

У разі практичного використання цього методу (наприклад, у [3]) слід враховувати, що особливостями коефіцієнта переважності  $g_k$  є його межі  $0 < g_k \leq 1$  та умова

$\sum_{k=1}^k g_k = 1$ , яка унеможливує безпосереднє використання вибіркового коефіцієнта кореляції (який має межі  $-1 \leq r_k \leq 1$ ) у виразі (2).

З урахуванням зазначеного для трансформації вибіркового коефіцієнта кореляції у коефіцієнт переважності скористуємось виразом

$$g_k = \frac{|r_k|}{\sum_{k=1}^k r_k},$$

де  $r_k$  – вибіркового коефіцієнт кореляції. Фізичний зміст такого представлення відображає пропорційну величину впливу того чи іншого чинника на потенційну вартість одиниці площі земельної ділянки, при цьому забезпечуються умови  $\sum_{k=1}^k g_k = 1; 0 < g_k \leq 1$ .

З урахуванням того, що  $\bar{C}$  – середня зважена ринкова вартість земельної ділянки в межах населеного пункту, ринкова вартість  $i$ -ї земельної ділянки має становити

$C_i = \bar{C}S_i\omega_i$ , де  $S_i$  – площа  $i$ -ї земельної ділянки;  $\omega_i$  – коефіцієнт вартості  $i$ -ї земельної ділянки,  $0 \leq \omega_i \leq +\infty$ .

Фізичний сенс заданих меж знаходження  $0 \leq \omega_i \leq +\infty$  полягає в тому, що якщо земельна ділянка має середні характеристики, то значення  $\omega_i = 1$ , інакше вводяться зміни у середню вартість, які зменшують або збільшують її. З цих же міркувань під час використання балової оцінки експертів переважності чинників у прояві на об'єкт оцінки справедливо ввести нормований показник вартості  $\omega_i^{m_k norm}$ , який буде задавати зазначені межі для  $\omega_i$ , для чого  $\omega_i^{m_k norm} = \frac{\omega_i^{m_k}}{\bar{\omega}_i^{m_k}}$ , де  $\bar{\omega}_i^{m_k}$  – середнє значення прояву  $k$ -го чинника

впливу в населеному пункті. Очевидно, що таке визначення  $\omega_i^{m_k norm}$  забезпечить знаходження його меж в інтервалі  $0 \leq \omega_i^{m_k norm} \leq +\infty$ .

Окремо слід зауважити на можливу мінливість факторів впливу внаслідок розвитку інфраструктури, змін економічного стану держави чи регіону або інших випадків, що може значно збільшувати похибку автоматизованого визначення вартості нерухомості щодо експертної. Для мінімізації подібної похибки механізм кореляційного аналізу необхідно включати до автоматизованої системи визначення експертної вартості нерухомості.

**Висновки.** Розглянута проблема є частиною проблеми автоматизації земельних відносин у державі. Запропонований підхід може використовуватись під час створення автоматизованих комплексів експертної оцінки землі і нерухомості.

Одержувана таким способом експертна оцінка значною мірою позбавлена суб'єктивізму. Точність оцінки визначатиметься обсягом вибірки статистичних даних, а достовірність – актуальністю первинних даних та наповненості геоінформаційної моделі адекватної інфраструктури оцінюваного міста або району.

#### Список використаних джерел

1. *Методика експертної грошової оцінки земельних ділянок* : затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2002 р. № 1531 // Офіційний вісник України. – 2002. – № 42. – С. 144.
2. *Корнієнко І. В.* Підхід до розв'язування задачі розподілу ресурсу в неточно визначених умовах / І. В. Корнієнко, В. М. Лось, С. П. Корнієнко // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. – Чернігів : ЧДПУ, 2011. – № 83. – С. 36–39.
3. *Корнієнко І. В.* Спосіб кореляційного визначення ступеня впливу об'єктивних чинників на кількість відібраних кандидатів на військову службу за контрактом / І. В. Корнієнко, В. П. Хома, С. П. Корнієнко // Труді університету. – 2012. – № 2 (108). – С. 158–166.

**І.В. Корнієнко**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**А.І. Кошма**, аспірант

ТОВ «Сервіс Груп», м. Чернігів, Україна

### **МОДЕЛЮВАННЯ ОБМЕЖЕНЬ РОЗТАШУВАННЯ КОНТЕЙНЕРНИХ МАЙДАНЧИКІВ РОЗДІЛЬНОГО ЗБОРУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

**И.В. Корниенко**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**А.И. Кошма**, аспирант

ООО «Сервис Групп», г. Чернигов, Украина

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЛОЩАДОК РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

**Ihor Korniyenko**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**Artem Koshma**, PhD student

Service Group LTD, Chernihiv, Ukraine

### **MODELLING OF RESTRICTIONS OF PLACEMENT OF CONTAINER PLATFORMS OF SEPARATE COLLECTING MUNICIPAL SOLID WASTE**

*Зроблено аналіз обмежувальних чинників на розташування контейнерних майданчиків для роздільного збирання твердих побутових відходів. Проведено геоінформаційне моделювання зон розташування майданчиків, проаналізовано дотримання сучасних вимог.*

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, розташування контейнерних майданчиків, геоінформаційне моделювання.

*Сделан анализ ограничительных факторов на размещение контейнерных площадок для раздельного сбора твердых бытовых отходов. Проведено геоинформационное моделирование зон размещения площадок, проанализировано соблюдение современных требований.*

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, размещение контейнерных площадок, геоинформационное моделирование.

*In article the analysis of restrictive factors on placement of container platforms for separate collecting municipal solid waste is given. Geoinformation modeling of zones of placement of platforms is carried out, observance to modern requirements is analysed.*

**Key words:** municipal solid waste, placement of container platforms, geoinformation modeling.

**Постановка проблеми.** На сьогодні в Україні основами державної політики у сфері поводження з побутовими відходами, які визначені Законом України «Про відходи», є захист навколишнього середовища та здоров'я людини від негативного впливу відходів [1]. Щороку у населених пунктах країни спостерігається тенденція приросту в геометричній прогресії кількості твердих побутових відходів (ТПВ), що пояснюється технічним прогресом, рівнем життя населення, ступенем благоустрою житлових будинків, збільшенням кількості виробництва нових товарів на ринку тощо. Проте система утилізації побутових відходів лишається без суттєвих змін, що негативно впливає на екологічну ситуацію. Майже всі відходи потрапляють на сміттєвий полігон або частково утилізуються на сміттєспалювальних заводах. У більшості міст розвинених країн світу налагоджена система роздільного збору твердих побутових відходів, в якій зібране сміття одержує вторинну переробку і використання у виробництві. Налагодження подібної системи в нашій країні потребує перегляду підходу до формування системи первинного збирання побутових відходів [2], що пов'язано із забезпеченням суворих екологічних вимог, технічних можливостей збирання сміття і, основне, забезпечення максимально можливих обсягів роздільно зібраного сміття.

Наявна структура системи збирання побутових відходів, обґрунтованість місць розташування контейнерних майданчиків, точок збору відходів, на думку авторів, недос-

конала і не забезпечує достатнього рівня захисту екологічної безпеки, не відповідає санітарному стану територій і не дозволяє побудувати ефективну систему збирання ТПВ.

Отже, моделювання обмежень на розташування контейнерних майданчиків роздільного збирання твердих побутових відходів є першим кроком у вирішенні проблеми поводження з побутовими відходами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання запровадження в Україні системи роздільного збору твердих побутових відходів розглядаються у [3], питання дослідження системи логістики розглянуті у статті [4], етапи комплексного вирішення завдання побудови просторової структури мережі роздільного збирання твердих побутових відходів відображено у статті [5].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Завдяки системі роздільного збирання твердих побутових відходів з'являється можливість ефективно вилучати вторинну сировину з потоку твердих побутових відходів. Рентабельність подібної системи ґрунтується на обсягах зібраного сміття та витратах на його збір. Така постановка проблеми відносить завдання формування просторової структури мережі роздільного збирання ТПВ до класу оптимізаційних завдань. Обмежувальним чинником формування просторової структури є санітарно-екологічні норми на розташування сміттєвих контейнерів, тому питання моделювання зон заборони розташування контейнерів має передувати оптимізаційному алгоритму формування оптимальної просторової структури мережі збирання ТПВ.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є аналіз житлово-комунальних, санітарно-епідеміологічних, будівельних норм на розміщення та встановлення контейнерних майданчиків роздільного збору твердих побутових відходів, а також моделювання заборонених зон у геоінформаційному середовищі.

**Виклад основного матеріалу.** Для моделювання обмежень розташування контейнерних майданчиків необхідно проаналізувати та вивести в систему обмежень основні вимоги, що необхідно враховувати під час улаштування контейнерних майданчиків роздільного збору, а також під час виконання та приймання робіт з благоустрою територій у частині проектування й будівництва контейнерних майданчиків.

Законодавство щодо питання про відходи складається із законів України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про металобрухт», «Про житлово-комунальні послуги», «Про хімічні джерела струму», «Про ветеринарну медицину», «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції», Кодексу України про надра та інших нормативно-правових актів [1].

Відповідно до нормативно-правових актів, нормативних актів та нормативних документів усі житлові масиви, внутрішньодворові території, дороги загального користування, об'єкти благоустрою населених пунктів та місця проведення масових заходів у нашій країні повинні обладнуватись контейнерними майданчиками. При цьому повинні дотримуватись усіх державних санітарних норм і правил щодо утримання територій населених пунктів. Згідно з цими нормами [6; 7] виділяють такі системи збирання побутових відходів:

– планово-подвірна система збирання побутових відходів – система, за якою зібрані в контейнери побутові відходи перевозять на об'єкти поводження з відходами для їх подальшого оброблення (перероблення), утилізації, знешкодження чи захоронення;

– планово-поквартирна система збирання побутових відходів – система, яка не передбачає наявності контейнерів, а споживач самостійно завантажує побутові відходи у сміттєвіз, що прибуває за графіком;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

– планово-регулярна система санітарного очищення – система санітарного очищення, що передбачає регулярне (за графіком) перевезення побутових відходів з населених місць до місць їх оброблення (перероблення), утилізації, видалення, знешкодження чи захоронення у терміни, визначені у Санітарних нормах.

Для введення системи обмежень під час моделювання розташування контейнерних майданчиків, крім стандартів на улаштування контейнерних майданчиків, потрібно враховувати етапність проведення роздільного збору ТПВ [8]:

- технологічну схему роздільного збирання твердих побутових відходів;
- розрахунок кількості контейнерів для збирання відходів;
- раціональна схема розташування контейнерів та будівництво у разі необхідності контейнерних майданчиків.

Враховуючи всі фактори, можна виділити такі сектори та систему обмежень до пропонованого розташування контейнерних майданчиків роздільного збору побутових відходів:

- сектор із багатоквартирними будинками;
- приватний сектор;
- організації, установи, офіси тощо;
- промислові підприємства.

Здебільшого, санітарно-екологічне нормування визначається певною забороненою зоною, межа якої віддалена на визначену відстань від об'єкта. Під час моделювання в геоінформаційному середовищі ця відстань може задаватися еквідистантою  $m_i$ , яка сформує полігон, обмежений еквідистантною лінією  $M_i$ . Таким чином, заборонена територія для розташування контейнерів має обмежуватись еквідистантною лінією  $M$ , яка сформована пересіченням усіх можливих полігонів, сформованих множиною  $\forall M_i$ , тобто

$$M \in \{M_i \cap M_j\}, \quad (1)$$

де  $i, j$  – обмежувальні чинники.

Крім обмежень, до місць розташування майданчиків можуть застосовуватись вимоги щодо обов'язковості розташування в межах певних ареалів  $L$  (наприклад, для технічного обслуговування) з еквідистантами  $l_k$ , тобто

$$L \in \{l_k \cup l_n\}, \quad (2)$$

тобто для розташування контейнера обов'язкове виконання всіх висунутих технічних вимог. Тоді зона розташування контейнерів  $R$  має визначатись булевими операціями над множинами полігонів, як

$$R \in \{L \text{ not } M\}. \quad (3)$$

Серед нормованих згідно з українським законодавством санітарно-екологічних обмежень на розташування контейнерів можна визначити такі [6; 7]:

– контейнерні майданчики повинні бути віддалені від меж земельних ділянок навчальних та лікувально-профілактичних закладів, стін житлових та громадських будівель і споруд, майданчиків для ігор дітей та відпочинку населення на відстань не менше ніж 20 м (позначимо як  $m_1$ );

– на території садибної забудови населених пунктів відстань від контейнерних майданчиків до меж присадибних ділянок зі сторони вулиць повинна становити не менше ніж 5 м (позначимо як  $m_2$ );

– контейнерні майданчики повинні бути ізольовані від об'єктів обслуговування населення, господарських дворів і магістральних вулиць смугою зелених насаджень шириною не менше ніж 1,5 м, не повинні бути прохідними для пішоходів і транзитного руху транспорту (позначимо як  $m_3$ );

– контейнери для зберігання побутових відходів слід встановлювати поза межами прибережної захисної смуги річок і водойм та пляжної зони з розрахунку один контейнер місткістю 1,1 куб. м на 2500 кв. м площі пляжу (позначимо як  $m_4$ );

– контейнерні майданчики розміром не менше ніж 40 кв. м необхідно розташовувати на території господарської зони лікувально-профілактичного закладу на відстані не менше ніж 25 м від лікувально-діагностичних та палатних корпусів і харчоблоків (позначимо як  $m_5$ ). Допускається встановлювати контейнери для зберігання побутових відходів у вбудованих приміщеннях господарського призначення.

Також у [8] визначені вимоги щодо розміщення контейнерних майданчиків з погляду технічної можливості обслуговування:

– територія контейнерного майданчика має примикати до проїздів, але не заважати руху транспорту. У разі відокремленого розміщення контейнерного майданчика (вдалині від проїздів) треба передбачати можливість зручного проїзду спеціально обладнаних транспортних засобів та наявність майданчиків для розвороту (12x12 м) (позначимо як  $l_1$ );

– улаштування контейнерного майданчика вздовж наскрізного проїзду допускається, якщо ширина проїзду становить не менше ніж 3,5 м у разі одностороннього руху (позначимо як  $l_2$ ) та не менше ніж 6 м у разі двостороннього руху (позначимо як  $l_3$ ). Якщо контейнерний майданчик розміщується на відстані більше ніж 2 м від краю проїжджої частини, потрібне влаштування під'їзної кишені.

Відповідно до визначених норм було проведено моделювання деяких (випадковим чином обраних) територій різного типу м. Чернігова, за основу була взята віртуальна екологічна карта міста, розроблена активістами. На якій нанесені наявні пункти прийому батарейок, ртутних ламп, контейнерів для вторинної сировини. Останні розташовані поряд із звичайними сміттєвими контейнерами (рис. 1).

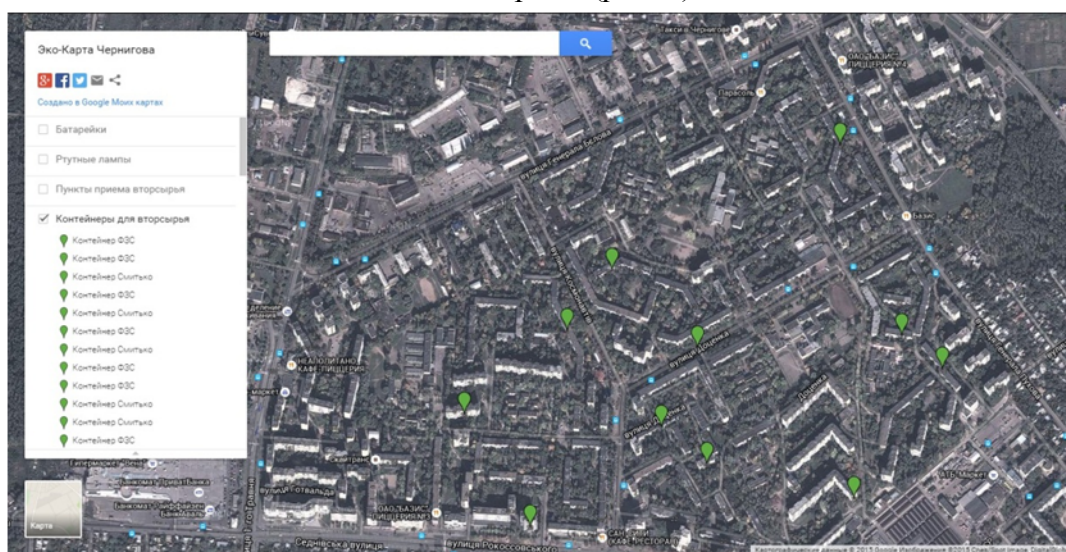


Рис. 1. Територія міста Чернігова

На рис. 2 зображений результат формування зон за логічним виразом (3), в яких рекомендовано розташування контейнерних майданчиків.



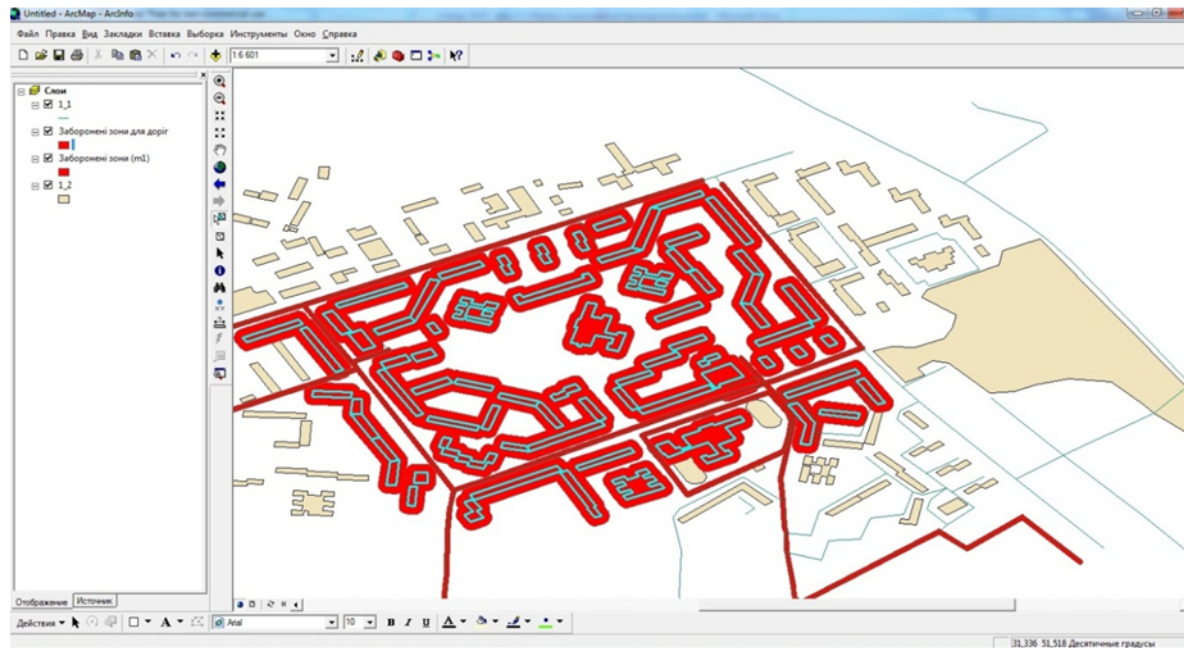


Рис. 2. Моделювання обмежень розміщення контейнерів згідно із завданими нормами у програмі ArcGIS

Моделювання за системою обмежень розміщення контейнерних майданчиків, яке виконувалось у частині будинків, виявило фактичне порушення санітарно-екологічних вимог (рис. 2). Пошук раціональних зон розміщення контейнерних майданчиків у сформованих зонах є основою для подальшого визначення структури мережі роздільного збирання ТПВ.

**Висновки і пропозиції.** Проведене моделювання за визначеними чинниками підтвердило ефективність геоінформаційного апарату для розв'язку просторових задач. Очевидним є проблема правильного облаштування майданчиків для збору сміття. Запровадження системи роздільного збору ТПВ змусить розміщувати майданчики у зонах, де раніше не було такої потреби (багатоповерхові будівлі зі сміттєпроводом, приватний сектор тощо), а отже, подібне моделювання допоможе формувати полігони можливого розташування контейнерів. На цьому етапі невизначеним є питання раціонального розташування контейнерів усередині визначених зон розташування. Цю проблему автори будуть розглядати у подальших дослідженнях.

#### Список використаних джерел

1. *Про відходи* [Електронний ресурс] : Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>.
2. *Корнієнко І. В.* Стан і напрями розв'язання проблеми утилізації екологічно небезпечних побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // *Чернігівський науковий часопис. Серія 2: Техніка і природа.* – 2012. – № 1 (3). – С. 122–127. –
3. *Ігнатенко О. П.* Розділяй та володарюй – принципи побутових відходів : практичний посібник / О. П. Ігнатенко. – К., 2013. – 173 с.
4. *Ільченко А. В.* Підвищення ефективності керування процесів перевезення твердих побутових відходів міста Житомира [Електронний ресурс] / А. В. Ільченко, І. Г. Коцюба // *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* – 2011. – № 2. – С. 150–153. – Режим доступу : <http://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/02/150.pdf>.
5. *Корнієнко І. В.* Декомпозиція задачі формування просторової структури мережі збору побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // *Технічні науки та технології.* – 2015. – № 1 (1). – С. 113–117.
6. *Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць* [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства охорони здоров'я від 17.03.1995 № 145. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0457-11>.

7. *Настанова з улаштування контейнерних майданчиків: ДСТУ-Н Б Б.2.2-7:2013.* – [Чинний від 2014.04.01]. – К. : Український державний науково-дослідний інститут проблем водопостачання, водовідведення та охорони навколишнього природного середовища УкрВОДГЕО, 2013. – (Національний стандарт України).

8. *Про затвердження Методики роздільного збирання побутових відходів* [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.08.2011 № 133. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1157-11>.

УДК 004.7

**Д.Б. Мехед**, канд. пед. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

**Д.Б. Мехед**, канд. пед. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

**Dmytro Mekhed**, PhD in Pedagogical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### INFORMATION SECURITY IN COMPUTER NETWORKS

*Розглянуто комп'ютерні мережі, типи їх побудови, зроблено аналіз переваг і недоліків різних типів мереж. Проаналізовано основні типи передачі інформації, виділено їхні переваги й недоліки, можливість втрати інформації, а також методи її захисту.*

**Ключові слова:** комп'ютерна мережа, передача інформації, захист інформації.

*Рассмотрены компьютерные сети, типы их построения, сделан анализ преимуществ и недостатков различных типов сетей. Проанализированы основные типы передачи информации, выделены их преимущества и недостатки, возможность потери информации, а также методы ее защиты.*

**Ключевые слова:** компьютерная сеть, передача информации, защита информации.

*The article deals with computer networks, types of construction, the analysis of the advantages and disadvantages of different types of networks. The basic types of information transmission, highlighted their advantages and disadvantages, losing information and methods of protection.*

**Key words:** computer network, communication activity, information security.

**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 сотового зв'язку, факсимільний зв'язок став доступним 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 [1]. Аналіз стану захисту інформації – це комплексне вивчення фактів, подій, процесів, явищ, пов'язаних з проблемами захисту інформації, у тому числі даних про стан роботи з виявлення можливих каналів витоку інформації, про причини й обставини, що сприяють витоку і порушенню режиму секретності (конфіденційності) у ході повсякденної діяльності 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. Хорощко, 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.** Незважаючи на значний обсяг накопичених у цій сфері знань, недостатньо дослідженою залишилась проблема захисту інформації комп'ютерних мереж.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є аналіз основних типів передачі інформації за допомогою комп'ютерних мереж. Визначення основних причин можливості втрати інформації та методи її захисту.

**Виклад основного матеріалу.** Комп'ютерна мережа – система зв'язку між двома чи більше комп'ютерами. У ширшому розумінні комп'ютерна мережа – це система зв'язку через кабельне чи повітряне середовище, власне комп'ютери різного функціонального призначення і мережеве обладнання. Для передачі інформації можуть бути використані різні фізичні явища, переважно, різні види електричних сигналів чи електромагнітного випромінювання. Середовищами передавання інформації у комп'ютерних мережах можуть бути телефонні та спеціальні мережеві кабелі: коаксіальні, виті пари, волоконно-оптичні, а також радіохвилі та світлові сигнали [2]. Мережа дає можливість окремим співробітникам організації взаємодіяти один з одним і звертатися до спільно використовуваних ресурсів; дозволяє їм одержувати доступ до даних, що зберігаються на персональних комп'ютерах у видалених офісах, і встановлювати зв'язок з постачальниками [1]. Мережеві операції регулюються набором правил і угод (званих мережевим протоколом), який визначає: типи роз'ємів і кабелів, види сигналів, формати даних, алгоритми роботи мережевих інтерфейсів, способи контролю та виправлення помилок, взаємодію прикладних процесів та ін.

До теперішнього часу розроблено значну кількість різновидів організаційної та архітектурної побудови комп'ютерних мереж. Системну їх класифікацію можна здійснити за такими критеріями [4]:

- 1) за масштабом – локальні та глобальні;
- 2) за способом організації – централізовані і децентралізовані;
- 3) за топологією (конфігурацією) – зіркоподібні, кільцеві, шинні, змішані.

Різновиди комп'ютерних мереж за виділеними значеннями перерахованих критеріїв характеризуються таким чином [4]:

– локальні обчислювальні мережі – мережі, вузли яких розташовуються на невеликих відстанях один від одного (у різних приміщеннях тієї самої будівлі, в різних будівлях, розташованих на одній території);

– глобальні обчислювальні мережі – вузли мережі розташовані на значних відстанях один від одного (у різних частинах великого міста, у видалених один від одного населених пунктах (які включають у себе цегляні, панельні і дерев'яні будинки), у різних регіонах країни і навіть у різних країнах).

Централізовані локальні обчислювальні мережі – мережі, в яких передбачено головний вузол, через який здійснюються всі обміни інформацією і який здійснює управління всіма процесами взаємодії вузлів.

Децентралізовані обчислювальні мережі – мережі з відносно рівноправними вузлами, управління доступом до каналів передачі даних у цих мережах розподілено між вузлами.

На основі навіть такого швидкого розгляду можливих структур обчислювальних мереж неважко зробити висновок, що для тих об'єктів (підприємств, установ, інших організацій), в яких регулярно обробляються значні обсяги інформації, найбільш доцільною буде комбінована структура комп'ютерних обчислювальних мереж.

**Мережева взаємодія.** Це питання розглянемо на прикладі найбільш поширеної і визнаної еталонної моделі взаємодії відкритих систем OSI [2].

В основу еталонної моделі покладена ідея декомпозиції процесу функціонування відкритих систем на рівні, причому розбиття на рівні проводиться таким чином, щоб згрупувати в межах кожного з них функціонально найбільш близькі компоненти. Крім того,

потрібно, щоб взаємодія між суміжними рівнями була мінімальною, кількість рівнів порівняно невеликим, а зміни, вироблені в межах одного рівня, не вимагали б перебудови суміжних.

Окремий рівень, таким чином, являє собою логічно і функціонально замкнену підсистему, що сполучається з іншими рівнями за допомогою спеціально визначеного інтерфейсу. В межах моделі OSI кожен конкретний рівень може взаємодіяти тільки із сусідніми. Сукупність правил (процедур) взаємодії об'єктів однойменних рівнів називається протоколом.

Еталонна модель містить сім рівнів (знизу вгору): фізичний; каналний (або передачі даних); мережевий; транспортний; сеансовий; представницький; рівень додатків.

Кожен рівень передавальної станції в цій ієрархічній структурі взаємодіє з відповідним рівнем приймаючої станції за допомогою нижчих рівнів. При цьому кожна пара рівнів за допомогою службової інформації повідомлень встановлює між собою логічне з'єднання, забезпечуючи тим самим логічний канал зв'язку відповідного рівня. За допомогою такого логічного каналу кожна пара верхніх рівнів може забезпечувати між собою взаємодію, абстрагуючись від особливостей нижніх [4]. Іншими словами, кожен рівень реалізує строго визначений набір функцій, який може використовуватися верхніми рівнями незалежно від деталей реалізації цих функцій (табл.).

Таблиця

*Семирівнева модель протоколів мережевого обміну OSI*

№ рівня	Найменування рівня	Зміст
7	Рівень додатків	Надання послуг на рівні кінцевого користувача
6	Рівень представлення даних	Інтерпретація та стиск даних
5	Рівень сеансів	Аутентифікація та перевірка повноважень
4	Транспортний рівень	Забезпечення коректної передачі даних
3	Мережевий рівень	Маршрутизація та ведення обліку
2	Канальний рівень	Передача та прийом пакетів, визначення апаратних адрес
1	Фізичний рівень	Кабель або фізичний носій інформації

Розглянемо докладніше функціональне призначення кожного рівня.

**Фізичний рівень.** Фізичний рівень забезпечує електричні, функціональні та процедурні засоби встановлення, підтримки і роз'єднання фізичного з'єднання. Реально він представлений апаратурою генерації та управління електричними сигналами і каналом передачі даних. На цьому рівні дані представлено у вигляді послідовності бітів або аналогового електричного сигналу. Завданням фізичного рівня є передача послідовності бітів з буфера відправника в буфер одержувача.

**Канальний рівень.** Протоколи каналного рівня (або протоколи управління ланкою передачі даних) посідають особливе місце в ієрархії рівнів: вони є сполучною ланкою між реальним каналом, що забезпечує безпомилкову передачу даних. Цей рівень використовується для організації зв'язку між двома станціями за допомогою наявного (зазвичай ненадійного) каналу зв'язку. При цьому станції можуть бути пов'язані декількома каналами.

Протокол каналного рівня повинен забезпечити:

– незалежність протоколів вищих рівнів від використовуваного середовища передачі даних;

– кодонезалежність переданих даних;

– вибір якості обслуговування під час передачі даних.

На цьому рівні дані представлено кадром, який містить інформаційне поле, а також заголовок і кінцевик (трейлер), що привласнюються протоколом. Заголовок містить службову інформацію, використовувану протоколом каналного рівня приймаючої станції і служить для ідентифікації повідомлення, правильного прийому кадрів, віднов-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лення і повторної передачі у разі помилок і т. ін. Кінцевик містить перевірочне поле, що служить для корекції та виправлення помилок, внесених каналом. Завдання протоколу каналного рівня – складання кадрів, правильна передача і прийом послідовності кадрів, контроль послідовності кадрів, виявлення та виправлення помилок в інформаційному полі (якщо це необхідно).

Мережевий рівень. Мережевий рівень надає транспортному рівню набір послуг, головними з яких є наскрізна передача блоків даних між передавальною і приймальною станціями (тобто виконання функцій маршрутизації та ретрансляції) і глобальне адресування користувачів. Іншими словами, знаходження одержувача за вказаною адресою, вибір оптимального (в умовах цієї мережі) маршруту та доставка блока повідомлення за вказаною адресою.

Таким чином, на межі мережевого і транспортного рівнів забезпечується незалежність процесу передачі даних від використовуваних середовищ за винятком якості обслуговування. Під якістю обслуговування розуміється набір параметрів, що забезпечують функціонування мережевої служби, що відображає робочі (транзитна затримка, коефіцієнт невиявлених помилок та ін.) та інші характеристики (захист від несанкціонованого доступу, вартість, пріоритет та ін.). Система адрес, використовувана на мережевому рівні, повинна мати ієрархічну структуру і забезпечувати такі властивості: глобальну однозначність, маршрутну незалежність і незалежність від рівня послуг.

На мережевому рівні дані представлено у вигляді пакета, який містить інформаційне поле і заголовок, який присвоюється протоколом. Заголовок пакета містить керуючу інформацію, яка вказує адресу відправника, можливо, маршрут і параметри передачі пакета (пріоритет, номер пакета в повідомленні, параметри безпеки, максимум ретрансляції та ін.). Розрізняють такі види мережевої взаємодії:

- зі встановленням з'єднання – між відправником та одержувачем спочатку за допомогою службових пакетів організовується логічний канал (відправник – відправляє пакет, одержувач – чекає отримання пакунків плюс взаємне повідомлення про помилки), який роз'єднується після закінчення повідомлення або у разі невірної помилки. Такий спосіб використовується протоколом X.25;

- без встановлення з'єднання (дейтаграмний режим) – обмін інформацією здійснюється за допомогою дейтаграм (різновид пакетів), незалежних один від одного, які приймаються також незалежно один від одного і збираються в повідомлення на приймальній станції. Такий спосіб використовується в архітектурі протоколів DARPA.

Транспортний рівень. Транспортний рівень призначений для наскрізної передачі даних через мережу між кінцевими користувачами – абонентами мережі. Протоколи транспортного рівня функціонують тільки між кінцевими системами.

Основними функціями протоколів транспортного рівня є розбиття повідомлень або фрагментів повідомлень на пакети, передача пакетів через мережу і збір пакетів. Вони також виконують такі функції: відображення транспортного адреси в мережі, мультиплексування і розщеплення транспортних сполучень, межкінцеве управління потоком і виправлення помилок. Набір процедур протоколу транспортного рівня залежить як від вимог протоколів верхнього рівня, так і від характеристик мережевого рівня.

Найбільш відомим протоколом транспортного рівня є TCP (Transmission Control Protocol), використовуваний в архітектурі протоколів DARPA і прийнятий за стандарт [2]. Він використовується як високонадійний протокол взаємодії між комп'ютерами в мережі з комутацією пакетів.

Протоколи верхніх рівнів. До протоколів верхніх рівнів відносяться протоколи сеансового, представницького і прикладного рівнів. Вони спільно виконують одну задачу – забезпечення сеансу обміну інформацією між двома прикладними процесами, причому

інформація повинна бути представлена в тому вигляді, який зрозумілий обом процесам. Тому зазвичай ці три рівня розглядають спільно. Під прикладним процесом розуміється елемент кінцевої системи, який бере участь у виконанні одного або декількох завдань з оброблення інформації. Зв'язок між ними здійснюється за допомогою прикладних об'єктів – елементів прикладних процесів, що беруть участь в обміні інформацією. При цьому протоколи верхніх рівнів не враховують особливості конфігурації мережі, каналів і засобів передачі інформації.

Протоколи представницького рівня надають послуги за погодженням синтаксису передачі (правил, які задають подання даних при їх передачі) і конкретним уявленням даних у прикладній системі. Іншими словами, на представницькому рівні здійснюється синтаксичне перетворення даних від виду, використовуваного на прикладному рівні, до виду, використовуваному на інших рівнях (і навпаки).

Прикладний рівень, будучи самим верхнім у еталонній моделі, забезпечує доступ прикладних процесів у середовище взаємодії відкритих систем. Основним завданням протоколів прикладного рівня є інтерпретація даних, отриманих з нижніх рівнів, і виконання відповідних дій у кінцевій системі в межах прикладного процесу. Зокрема, ці дії можуть полягати в передачі управління певним службам операційної системи разом з відповідними параметрами.

Крім того, прикладний рівень може надавати послуги з ідентифікації й аутентифікації партнерів, встановлення повноважень для передачі даних, перевірки параметрів безпеки, управління діалогом та ін.

Перелічимо основні загрози, що представляють реальну небезпеку для мереж передачі даних.

1. Прослуховування каналів, тобто запис і подальший аналіз всього потоку повідомлень. Прослуховування здебільшого не помічається легальними учасниками інформаційного обміну.

2. Умисне знищення або спотворення (фальсифікація) повідомлень в мережі, а також включення в потік помилкових повідомлень. Неправдиві повідомлення можуть бути сприйняті одержувачем як справжні.

3. Присвоєння зловмисником своєму вузлу або ретранслятору чужого ідентифікатора, що дає можливість отримувати або відправляти повідомлення від чужого імені.

4. Навмисний розрив лінії зв'язку, що призводить до повного припинення доставки всіх (або тільки обраних зловмисником) повідомлень.

5. Впровадження мережевих вірусів. Передача по мережі тіла віруса з його подальшою активізацією користувачем віддаленого або локального вузла.

Відповідно до цього специфічні завдання захисту в мережах передачі даних полягають у такому:

1. Аутентифікація однорівневих об'єктів, що полягає у підтвердженні справжності одного або декількох взаємодіючих об'єктів під час обміну інформацією між ними.

2. Контроль доступу та захист від несанкціонованого використання ресурсів мережі.

3. Маскування даних, що циркулюють у мережі.

4. Контроль і відновлення цілісності всіх даних, що знаходяться в мережі.

5. Арбітражне забезпечення або захист від можливих відмов від фактів відправки, прийому або змісту відправлених або прийнятих даних.

**Висновки і пропозиції.** Враховуючи вищезазначене стосовно різних рівнів семирівневого протоколу передачі даних у мережі, завдання захисту інформації в мережі можуть бути конкретизовані таким чином.

1. Фізичний рівень – контроль електромагнітних випромінювань ліній зв'язку та пристроїв, підтримка комутаційного обладнання в робочому стані. Захист на цьому рі-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вні забезпечується за допомогою екрануючих пристроїв, генераторів перешкод, засобів фізичного захисту передавального середовища.

2. Канальний рівень – збільшення надійності захисту (за необхідності) за допомогою шифрування переданих по каналу даних. У цьому випадку шифруються всі передані дані, включаючи службову інформацію.

3. Мережевий рівень – найбільш вразливий рівень з погляду захисту. На ньому формується вся маршрутизована інформація, відправник і одержувач фігурують явно, здійснюється управління потоком.

Крім того, протоколами мережевого рівня пакети обробляються на всіх маршрутизаторах, шлюзах та інших проміжних вузлах. Майже всі специфічні мережеві порушення здійснюються з використанням протоколів цього рівня (читання, модифікація, знищення, дублювання, переорієнтація окремих повідомлень або потоку в цілому, маскування під інший вузол тощо). Захист від таких загроз здійснюється протоколами мережевого і транспортного рівнів і за допомогою засобів криптографічного захисту. На цьому рівні може бути реалізована вибіркова маршрутизація.

4. Транспортний рівень – здійснює контроль за функціями мережевого рівня на приймальному і передавальному вузлах (на проміжних вузлах протокол транспортного рівня не функціонує). Механізми транспортного рівня перевіряють цілісність окремих пакетів даних, послідовності пакетів, пройдений маршрут, час відправлення і доставки, ідентифікацію та аутентифікацію відправника й одержувача та інші функції. Всі активні загрози стають видимими на цьому рівні.

Гарантом цілісності переданих даних є криптозахист як самих даних, так і службової інформації. Ніхто, крім тих, хто має секретний ключ одержувача і / або відправника, не може прочитати або змінити інформацію таким чином, щоб зміна залишилась непоміченою.

Аналіз трафіку забезпечується передачею повідомлень, що не містять інформацію, але виглядають як реальні повідомлення. Регулюючи інтенсивність цих повідомлень залежно від обсягу переданої інформації, можна постійно домагатися рівномірного трафіку. Проте всі ці заходи не можуть захистити від загрози знищення, переорієнтації або затримки повідомлення. Єдиним захистом від таких порушень може бути паралельна доставка дублікатів повідомлення іншими шляхами.

5. Протоколи верхніх рівнів забезпечують контроль взаємодії прийнятої або переданої інформації з локальною системою. Протоколи сеансового і представницького рівня функцій захисту не виконують. У функції захисту протоколу прикладного рівня входить управління доступом до певних наборів даних, ідентифікація й аутентифікація певних користувачів, а також інші функції, які визначаються конкретним протоколом. Більш складними ці функції є у разі реалізації повноважної політики безпеки в мережі.

#### Список використаних джерел

1. Камалян А. К. Комп'ютерні мережі та засоби захисту інформації : навч. посіб. / [А. К. Камалян, С. А. Кульов, К. М. Назаренко та ін.]. – Воронеж : ВДАУ, 2003. – 119 с.
2. Комп'ютерні мережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Комп%27ютерна\\_мережа](https://uk.wikipedia.org/wiki/Комп%27ютерна_мережа).
3. Концепція технічного захисту інформації в галузі зв'язку України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
4. Оліфер В. Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи / В. Г. Оліфер, Н. А. Оліфер. – СПб. : Пітер, 2002. – 672 с.
5. Тардаскін М. Ф. Технічний захист комерційної таємниці підприємства зв'язку : навч. посіб. / за ред. М. В. Захарченка, М. Ф. Тардаскін, В. Г. Кононович. – Одеса : ОНАЗ, 2002. – 76 с.

УДК 629.016

**А.Г. Павленко**, канд. техн. наук

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, м. Чернігів, Україна

**ПІДХІД ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДУ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЗРАЗКІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ В ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІЙ СИСТЕМІ****А.Г. Павленко**, канд. техн. наук

Государственный научно-испытательный центр Вооруженных Сил Украины, г. Чернигов, Украина

**ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА МЕТОДА СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ****Anatolii Pavlenko**, PhD in Technical Sciences

State Research and Test Center of The Armed Forces of Ukraine, Chernihiv, Ukraine

**APPROACH TO SUBSTANTIATION OF THE COMPARATIVE ANALYSIS METHOD CHOICE FOR AERONAUTICAL TECHNICS TECHNICAL LEVEL ASSESSMENT IN THE INFORMATIONAL AND ANALYTICAL SYSTEM**

Запропоновано підхід до обґрунтування вибору методу порівняльного аналізу для оцінювання технічного рівня зразків авіаційної техніки. Підхід ґрунтується на оцінюванні близькості одержуваних різними методами ранжировання альтернатив. Для порівняння використовувались основні популярні методи прийняття рішень у багатокритеріальних задачах: метод простого зважування, метод ідеальної точки та метод ELECTRE. Близькість одержаних результатів оцінювалось за допомогою функції відстані між ранжировками і коефіцієнта кореляції Кендалла. Як критерій для вибору методу порівняльного аналізу використано можливість отримання середньої ранжировки.

**Ключові слова:** прийняття рішень, порівняльний аналіз, технічний рівень.

Предложен подход к обоснованию выбора метода сравнительного анализа для оценки технического уровня образцов авиационной техники. Подход базируется на оценивании близости получаемых разными методами ранжировок альтернатив. Для сравнения использовались основные популярные методы принятия решений в многокритериальных задачах: метод простого взвешивания, метод идеальной точки, метод ELECTRE. Близость полученных результатов оценивалась с помощью функции расстояния между ранжировками и коэффициента корреляции Кендалла. В качестве критерия для выбора метода сравнительного анализа использована возможность получения средней ранжировки.

**Ключевые слова:** принятие решений, сравнительный анализ, технический уровень.

The approach to substantiation of the comparative analysis method choice for aeronautical technics technical level assessment is proposed. This approach is based on closeness evaluating of the alternatives ratings obtained by the different methods. Basic popular multi-criteria decision making methods were used to compare: simple weighing method, ideal point method and ELECTRE method. The results closeness is evaluated by the function of distance between ratings and Kendall correlation coefficient. The middle rating obtaining ability is used as a criteria for comparative analysis method choice.

**Key words:** decision making, comparative analysis, technical level.

**Постановка проблеми.** Серед чинників, що визначають ефективність військово-технічної політики, особливо в умовах імпортозаміщення, суттєвим є ступінь обґрунтованості рішень, що приймаються. Для прийняття рішень, пов'язаних з вибором доцільного напрямку розвитку авіаційної техніки (АТ), визначенням перспектив розвитку наявних зразків АТ або варіантів їх модернізації, формулюванням вимог до знов створюваних зразків та їх складових частин важливою інформацією є оцінювання технічного рівня (ТР) зразка як складної технічної системи.

Оцінювання технічного рівня зразків АТ передбачає вирішення задачі порівняльного аналізу, причому ситуації, в яких особі, що приймає рішення (ОПР), необхідно здійснити вибір з кінцевої множини альтернативних варіантів, кожний з яких оцінюється за декількома критеріями, відносяться до задач дискретного багатокритеріального прийняття рішень (ДБКПР). Подібні задачі є погано структурованими, оскільки в них є невизначеність складу та структури критеріїв оцінювання [1]. Для вирішення таких задач застосовуються системи підтримки прийняття рішень або інформаційно-аналітичні системи.

Якість вирішення такого класу задач залежить від використовуваних методів порівняльного аналізу, які мають бути обрані дослідником з широкого спектра методів ДБКПР. Вважається, що рекомендувати який-небудь один метод не виявляється можливим, оскільки немає чітких критеріїв застосовності або непридатності різних методів [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи вирішення задач ДБКПР залишаються предметом численних досліджень вітчизняних [1–5] і зарубіжних [6–13] учених. У більшості робіт відзначається, що під час вибору методу вирішення конкретної задачі прийняття рішення враховуються два основні чинники:

– відповідність методу, що обирається, об'єктивним характеристикам вирішуваної задачі (варіант постановки задачі, умови і множина альтернативних рішень, число та взаємозв'язок критеріїв тощо);

– об'єктивні (часові, обчислювальні) та суб'єктивні (кваліфікація, допустимі працевитрати ОПР) обмеження.

Крім цього, для усунення невизначеності в постановці задачі, як правило, потрібні досвід та інтуїція ОПР.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** В роботах [4; 5] пропонується алгоритм порівняння методів комплексного кількісного оцінювання якості складних систем. Цей алгоритм передбачає порівняння оцінок, отриманих різними методами, за кількістю незбігаючих упорядкувань у різних ранжировках, але не враховує характер незбігань, тобто відношень між елементами в цих ранжировках. Це, у свою чергу, не дозволяє виявити та оцінити зв'язок між результатами, що отримуються різними методами.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є формування підходу до обґрунтування вибору методу порівняльного аналізу для оцінювання технічного рівня зразків АТ з урахуванням корельованості результатів, що отримуються різними методами. Для цього як показники близькості результатів використано функцію відстані між ранжировками та коефіцієнт рангової кореляції Кендалла.

**Виклад основного матеріалу.** Порівняльний аналіз як задача ДБКПР містить такі компоненти:

- набір альтернативних варіантів (масив об'єктів, що порівнюються);
- систему критеріїв (показників ТР);
- оцінювання альтернативних варіантів за критеріями (значення показників).

Найбільш зручним і ефективним вважається застосування ієрархічної системи критеріїв, коли під час оцінювання об'єктів дослідження вибираються інтегральні показники, що характеризують найбільш загальні суттєві властивості, наприклад: надійність, економічність, екологічність тощо. Кожна з цих властивостей може характеризуватися одиничними показниками. Той самий одиничний показник в ієрархічній системі критеріїв може впливати на різні інтегральні показники. Наприклад, для автомобілів одиничний показник «Тип палива» може входити і в групу інтегрального показника «Економічність», і в групу «Екологічність».

Таким чином, задача прийняття рішення та її компоненти (набір альтернативних варіантів, система критеріїв і оцінювання альтернативних варіантів за критеріями) – визначені. Процес ухвалення рішення має на меті знаходження кращого альтернативного або групи альтернативних варіантів з урахуванням безлічі локальних завдань, цілей, об'єктів дослідження, критеріїв й інших важливих чинників. Множина елементів, що підлягає дослідженню, розділяється на групи за визначеними ознаками. Потім досліджуються ці групи або їх типові представники як елементи нового рівня в загальній системі. Ці типові представники, у свою чергу, можуть групуватися за визначеними ознаками і так, піднімаючись до вищого рівня, досягається вершина, яку часто визначають

як мету прийняття рішення. За такої формалізації задачі найбільш раціональним є її рішення за допомогою методу аналізу ієрархій (AI) [6].

Цей метод має такі переваги [7]:

- дозволяє враховувати різні чинники і множинність цілей;
- дозволяє враховувати можливий ефект взаємодії чинників;
- має відносну простоту обчислень;
- дозволяє не лише упорядкувати альтернативні варіанти, але й отримати їх ранги.

Мережева структура методу AI передбачає визначення міри впливу чинників нижніх рівнів ієрархії на вершинний чинник, що є спільною метою. Оскільки різні чинники впливають неоднаково, необхідно визначити інтенсивність (пріоритети) їх впливу. Метод використовується для оцінювання абстрактних або невідчутних об'єктів, для яких немає стандарту вимірювань. Такими об'єктами є, наприклад, критерії, проте під час використання абсолютних вимірювань метод має певні недоліки. Передусім, він погано враховує діапазон зміни значення критерію. Отже, на етапі порівнювального аналізу альтернативних варіантів потрібен метод ДБКПР, який, за наявності набору альтернативних варіантів, критеріїв, значень альтернативних варіантів за критеріями (в абсолютному вимірюванні) і вагомість критеріїв, дозволяв би отримувати в результаті аналізу ранги альтернативних варіантів.

Крім методу AI, популярними методами прийняття рішень у багатокритеріальних задачах є: метод простого зважування; метод ідеальної точки та метод ELECTRE [8; 9]. Розглянемо коротко їх основні положення.

Метод простого зважування є одним з найбільш відомих і широко вживаних методів. Передбачається, що ОПР визначає вагомість критеріїв  $W(W_1, W_2, \dots, W_n)$ . Тоді найбільш прийнятним вважається альтернативний варіант, далі іменований альтернативою  $ALT^*$ , такий що

$$ALT^* = \left[ ALT_i \mid \text{Max} \sum_{k=1}^q W_k C_{ik}, k \in [1, q] \right]. \quad (1)$$

Матрицю альтернативи – критерії **ALT-CRIT** (n альтернатив, q критеріїв) заздалегідь нормалізують, щоб отримати шкаліровані дані. Нормалізують матрицю таким чином:

$$C_{ik}^r = \frac{C_{ik} - C_k^{\min}}{C_k^{\max} - C_k^{\min}} \quad \text{– для критерію прибутку } C_{ik} \text{ (більше – краще);}$$

$$C_{ik}^r = \frac{C_k^{\max} - C_{ik}}{C_k^{\max} - C_k^{\min}} \quad \text{– для критерію вартості } C_{ik} \text{ (менше – краще),}$$

де  $C_k^{\max}$  і  $C_k^{\min}$  – максимальне і мінімальне значення  $k$ -го критерію в усьому наборі альтернатив. Величини нормованих значень критеріїв – від 0 до 1.

Необхідно зазначити, що якщо під час проведення процедури порівнювального аналізу з'являється ще один об'єкт з найкращими або найгіршими значеннями за якими-небудь показниками, то величини нормованих значень за цими показниками в інших альтернативних варіантів зміняться. Це реально може привести до зміни порядку дотримання варіантів у ранжировці, що у свою чергу суперечить певній логіці. Тому будь-яке включення додаткових альтернативних варіантів у список аналізованих об'єктів не повинне змінювати співвідношення між рештою варіантами.

Для виключення такого роду некоректності, як значення показників під час рішення пропонується брати відповідні значення функції цінності Фішборна [10]. Для кожного показника ОПР по точках формує свою функцію цінності. Значення її дорівнює 1 для



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

найважливіших (з погляду ОПП) значень показників, і рівне 0 для найменш важливих. Використання функції цінності Фішборна створює дві великі переваги:

1. Можливість визначати будь-які немонотонні характеристики впливу показника на результат аналізу.

2. Можливість аналізу єдиного об'єкта дослідження, оскільки функція Фішборна для кожного показника задає крайні точки шкали – найкраще і найгірше значення, з якими і робиться порівняння.

Метод ранжирування за відстанню до ідеальної точки, розроблений К. Юном і С. Вангом [9], заснований на концепції, головна ідея якої полягає в тому, що кращі рішення мають найменшу відстань до позитивно ідеального рішення і найбільшу відстань до негативно ідеального рішення. Передбачається, що функція корисності кожного критерію або монотонно зростає, або зменшується. Тоді позитивно ідеальне рішення формується з кращих значень критеріїв за усіма альтернативними варіантами, а негативно ідеальне – з гірших.

Алгоритм методу описується послідовністю таких кроків:

Крок 1. Будується зважена нормалізована матриця «альтернативи – критерії»:

$$NORM - ALT - CRIT(ALT_i, V_{i1}, \dots, V_{ik}, \dots, V_{iq}), \quad (2)$$

де  $V_{ik} = W_k C_{ik}^r$ ,  $i \in [1, n]$ ;  $C_{ik}^r$  нормовані так само, як у попередньому методі.

Крок 2. Визначається позитивно ідеальне ( $A^+$ ) і негативно ідеальне ( $A^-$ ) рішення, які описуються відповідно:

$$(A^+) = \{\text{Max}_i V_{ik} \mid i \in [1, n], k \in [1, q]\} = \{V_1^+, \dots, V_k^+, \dots, V_q^+\}, \quad (3)$$

$$(A^-) = \{\text{Min}_i V_{ik} \mid i \in [1, n], k \in [1, q]\} = \{V_1^-, \dots, V_k^-, \dots, V_q^-\}. \quad (4)$$

Крок 3. Розрахунок відстаней. Відстань від поточної альтернативи до ідеальної позитивної точки розраховується:

$$G_j^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^q (V_{ik} - V_k^+)^2}. \quad (5)$$

Аналогічно розраховується відстань від поточної альтернативи до негативно-ідеальної точки:

$$G_j^- = \sqrt{\sum_{k=1}^q (V_{ik} - V_k^-)^2}. \quad (6)$$

Крок 4. Розраховується відносна близькість до позитивно ідеальної точки. Відносна близькість альтернативи  $ALT_i$  до позитивно ідеальної точки  $A^+$  визначається за формулою:

$$CL_i^+ = \frac{G_i^-}{G_i^+ + G_i^-}, \quad 0 < CL_i^+ < 1. \quad (7)$$

$ALT_i$  тим ближче до  $A^+$ , чим ближче  $CL_i^+$  до 1.

Крок 5. Ранжирування альтернатив (альтернативних варіантів). Альтернативи ранжируються за зменшенням  $CL_i^+$ . Якщо  $CL_i^+ > CL_j^+$ , то  $ALT_i \succ ALT_j$ .

Метод ELECTRE. Ідея методу була спочатку запропонована Бенаюном і потім розроблена Б. Руа і Нійкампом [8]. Сутність методу полягає в тому, що якщо навіть одна альтернатива не домінує над іншою математично, ОПП може розглядати альтернативу  $ALT_i$  майже напевно найкращою, ніж  $ALT_j$ .

Метод включає таку послідовність кроків:

Крок 1. Формується нормалізована матриця альтернатив – критеріїв **ALT-CRIT**, як це описано вище.

Крок 2. Розраховується зважена нормалізована матриця

$$NORM - ALT - CRIT(ALT_i, V_{i1}, \dots, V_{ik}, \dots, V_{iq}), \quad (8)$$

де  $V_{ik} = W_k C_{ik}$ .

Крок 3. Визначаються масиви згоди (concordance) і незгоди (disconcordance). Для пари альтернатив  $ALT_i$  і  $ALT_j$  множина критеріїв  $CRIT[1, \dots, k, \dots, q]$  розділяється на дві підмножини. Множина згоди  $F_{ij}$  включає всі критерії, за якими  $ALT_i$  прийнятніше  $ALT_j$ :  $F_{ij} = \{k \mid V_{ik} > V_{jk}\}$ .

Доповнююча підмножина є множиною незгоди:  $G_{ij} = \{k \mid V_{ik} < V_{jk}\}$ .

Крок 4. Розраховуються індекси згоди і незгоди. Індекс згоди визначається як сума вагомостей критеріїв, що входять у масив згоди:

$$f_{ij} = \sum_{k \in F_{ij}} W_k. \quad (9)$$

Індекс незгоди відбиває міру того, наскільки  $ALT_i$  гірше, ніж  $ALT_j$  і визначається, як:

$$g_{ij} = \frac{\text{Max}_{k \in G_{ij}} |V_{ik} - V_{jk}|}{\text{Max}_{k \in [1, q]} |V_{ik} - V_{jk}|}. \quad (10)$$

Очевидно,  $f_{ij} \in [0, 1]$  і  $g_{ij} \in [0, 1]$ .

Більш високе значення  $f_{ij}$  означає, що  $ALT_i$  прийнятніше  $ALT_j$ . Більше значення  $g_{ij}$  означає, що за критерієм незгоди  $ALT_i$ , менш переважно, чим  $ALT_j$ .

Крок 5. Визначаються індекси домінування (пороги) згоди і незгоди. На цьому етапі ОНР задає значення для порога згоди  $P$  і порога незгоди  $Q$ . Якщо  $f_{ij} > P_{ij}$  і  $g_{ij} > Q_{ij}$ , то  $ALT_i \succ ALT_j$ .

Наведемо основні положення підходу до обґрунтування вибору методу порівняльного аналізу з розглянутих вище ДБКПР-методів.

Результати, отримані К. Ерроу [11], свідчать про неможливість отримання групової ранжировки із заданих індивідуальних ранжировок. Інакше кажучи, якщо один ДБКПР-метод дає одну ранжировку альтернатив, то інший метод за однакових початкових даних і тих же вагомостей критеріїв може дати іншу ранжировку.

Дослідимо з цього погляду описані методи прийняття рішень і оцінимо близькість отримуваних ранжировок.

Передусім, необхідно ввести поняття відстані між ранжировками. Функція відстані була введена Д. Кемені і Д. Снеллом [12; 13] і визначається таким чином. Нехай  $P$  і  $Q$  – ранжировки на множині  $A$ , і  $a$  і  $b$  – елементи  $A$ . Покладемо  $y_{PQ}(a, b)$ , рівним 0, якщо порядок  $a$  і  $b$  збігається в  $P$  і  $Q$ , рівним 2, якщо в одній ранжировці  $a$  перевершує  $b$ , і в іншій  $b$  перевершує  $a$ , рівним 1, якщо в одній ранжировці  $a$  перевершує  $b$  або  $b$  перевершує  $a$ , і в іншій ранжировці  $a$  і  $b$  пов'язані (рівнозначні).

Тоді функція відстані  $d(P, Q)$  дорівнює сумі значень  $y_{PQ}(a, b)$  за всіма невпорядкованими парами  $\{a, b\}$  з  $A$ .

Якщо є спосіб вимірювання відстані між двома ранжировками, то за його допомогою можна визначити групову функцію узгодженості. Назвемо медіаною профілю ранжировок  $(P_1, P_2, \dots, P_l)$  таку ранжировку  $P$ , що  $\sum_{i=1}^l d(P_i, P)$  мінімальна, а середньою ранжировкою таку ранжировку  $P$ , що  $\sum_{i=1}^l d(P_i, P)^2$  мінімальна.

Бажано обирати як узгоджену групову ранжировку медіану або середнє. Медіана і середнє є в статистиці мірами «центральної» або «основної тенденції».

Природно очікувати, враховуючи теорему К. Ерроу, що процедура вибору медіани чи середнього або порушить одну з аксіом К. Ерроу, або виявиться не в змозі вибрати єдину ранжировку  $P$ , або матиме обидва ці недоліки [12].

Проте навіть якщо ця процедура не приведе до вибору єдиної ранжировки  $P$ , вона зможе обмежити розгляд множиною раціональних узгоджених ранжировок. Раціональний підхід полягає в послабленні вимог до функції групового узгодження. Якщо відмовитися від виявлення єдиної узгодженої ранжировки, то медіана і середнє визначають цілком прийнятні функції групового узгодження. Але залишається ще проблема вибору між медіаною і середнім. Одна зі складностей, пов'язаних із застосуванням методу Кемени-Снелла, обумовлена відсутністю ефективної процедури знаходження за цим профілем медіани і середнього.

Визначимо поняття кореляції між ранжировками. Коефіцієнт кореляції – це функція, що відносить до двох множин даних, число між  $-1$  і  $1$ . Чим більше за абсолютною величиною це число, тим точніші висновки можна робити про одну множину даних, використовуючи іншу.

Класичним коефіцієнтом кореляції служить коефіцієнт Кендалла  $R$ , що вимірює кореляцію між двома ранжировками  $P$  і  $Q$  однієї множини об'єктів. Коефіцієнт Кендалла задається формулою:

$$R(P, Q) = 1 - \frac{2d(P, Q)}{n(n-1)}. \quad (11)$$

де  $d$  – функція відстані, описана вище;  $n$  – число елементів  $A$ .

Коефіцієнт Кендалла  $R$  отримується нормуванням відстані  $d(P, Q)$  у величину, що змінюється між  $0$  і  $1$  і потім перетворену в шкалу  $[-1, 1]$ .

Дійсно

$$N(P, Q) = 1 - \frac{2d(P, Q)}{d_{\max}}, \quad (12)$$

де  $d_{\max}$  – максимальна відстань між двома ранжировками на множині  $A$ . Можна переконатися, що  $d_{\max} = n(n-1)$ .

Оперуючи поняттями відстані між ранжировками, середньої ранжировки і коефіцієнта кореляції, можна досліджувати і порівнювати результати, що отримуються за допомогою трьох описаних методів. З цією метою для п'яти різних прикладів проводився розрахунок усіма трьома методами. Потім визначалися відстані і коефіцієнти кореляції між отриманими ранжировками. Для кожного прикладу визначався метод, який давав середню ранжировку. З отриманих результатів визначено, що з п'яти випадків двічі дав середню ранжировку метод ідеальної точки, двічі – метод простого зважування й один раз обидва ці методи дали середню ранжировку.

Таким чином, виходячи з отриманих результатів, раціональним можна вважати вибір обох цих методів для порівняльного аналізу об'єктів.

Необхідно відзначити недоліки цих методів, пов'язані з їх компенсаторним характером. Під час їх застосування можливі ситуації, коли на більш високі місця в рейтингу можуть виходити об'єкти (варіанти з числа альтернативних), які поступаються за найважливішими критеріями, але виграють за сукупністю значень другорядних показників, що не завжди відповідає логіці. Крім цього, у користувача часто виникає потреба в аналітичній інформації, не пов'язаній безпосередньо з ваговими коефіцієнтами. При цьому пропонується, поряд з описаними вище методами, використовувати Парето – аналіз множини альтернатив.

Функція вибору за Парето:

$$C^{\text{Par}}(X) = \{x \in X \mid \forall y \in X, x \# y \exists i, x_i > y_i\}, \quad (13)$$

тобто точка  $x$  вибирається в  $X$  тільки тоді, коли будь-яка інша точка  $y$  з  $X$  має хоч би за однією координатою значення менше, ніж  $x$ .

Виділення множини Парето під час вирішення багатокритеріальних задач часто не задовольняє умови. Це пов'язано з тим, що при досить великій вихідній множині варіантів множина Парето значно перевищує можливості ОПР щодо здійснення остаточного самостійного вибору. Таким чином, виділення множини Парето можна розглядати лише як попередній етап оптимізації з необхідністю подальшого скорочення цієї множини.

Для скорочення множини Парето і надання експертові додаткової аналітичної інформації можна виділяти множину Парето не за всіма критеріями, а тільки за найважливішими. Але необхідно зазначити, що скорочення числа критеріїв, за якими виділяється множина Парето, не завжди може призводити до скорочення цієї множини. Можна запропонувати такий алгоритм побудови упорядкованої шаруватої структури альтернатив на основі впорядкування критеріїв (але без вагових коефіцієнтів).

Нехай є набір альтернативних варіантів  $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$  і набір впорядкованих за важливістю критеріїв  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ .

1. Вибираються два найважливіші критерії  $p_1$  і  $p_2$  (або верхня компактна група, тобто рівновагомі найбільш значущі критерії, чи найважливіший критерій та наступна за ним компактна група). За цими критеріями виділяється множина Парето. Нехай воно включає  $i$  альтернатив. Тоді ці варіанти утворюють верхню групу впорядкованої шаруватої структури.

2. Береться наступний за важливістю критерій (компактна група) і виділяється паретівський шар за всіма попередніми критеріями та ще новий критерій (компактна група) на всій множині альтернатив. Нехай у нього входять  $l_{i+1}$  альтернатив.

Очевидно, що  $l_{i+1} \in l_i$ .

З цієї множини виключаються альтернативні варіанти, що раніше входили до виділених груп шаруватої структури. Решта варіантів формують чергову групу.

Другий крок алгоритму повторюється доти, поки до шаруватої структури не потраплять усі варіанти, або доки не вибрані всі критерії.

**Висновки.** Розглянуто основні положення популярних методів прийняття рішень у багатокритеріальних задачах: методу простого зважування, методу ідеальної точки та методу ELECTRE. Запропоновано оцінювати близькість одержуваних цими методами ранжировок альтернатив за допомогою функції відстані між ранжировками і коефіцієнта кореляції Кендалла, а як критерій для вибору методу порівняльного аналізу використано можливість отримання середньої ранжировки. За цим критерієм більш раціональним для оцінювання ТР зразків АТ є використання та реалізація в інформаційно-аналітичній системі методу простого зважування й методу ідеальної точки. Для мінімізації впливу на результат вирішення задачі недоліків цих методів, пов'язаних з їх компенсаторним характером, пропонується використовувати Парето – аналіз множини альтернатив.

#### Список використаних джерел

1. Петровский А. Б. Теория принятия решений / А. Б. Петровский. – М. : Академия, 2009. – 400 с.
2. Ларичев О. И. Многокритериальные методы принятия решений и направление их всестороннего обоснования / О. И. Ларичев // Проблемы и методы принятия решений в организационных системах управления. – М. : ВНИИСИ, 1985. – С. 5–12.
3. Волошин О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. / О. Ф. Волошин, С. О. Машенко. – 2-ге вид., переробл. та доповн. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 336 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Лисецький Ю. М. Інформаційні системи і технології в менеджменті : монографія / Ю. М. Лисецький. – К. : Логос, 2014. – 417 с.
5. Лисецький Ю. М. Алгоритм сравнения методов комплексной количественной оценки качества сложных систем / Ю. М. Лисецкий // Программные продукты и системы. – 2012. – № 4 (100). – С. 153–155.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. Weiss E. N. AHP Design Issues for Large-Scale Systems / E. N. Weiss, V. R. Rao // Decision Science. – 1987. – Vol. 18 (1). – P. 43–61.
8. Руа Б. Классификация и выбор при наличии нескольких критериев / Б. Руа // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М. : Мир, 1976. – С. 80–107.
9. Hwang C. Multiple Attribute Decision Making / C. Hwang, K. Yoon. – Springer-Verlag, 1981. – 243 p.
10. Фишберн П. С. Теория полезности для принятия решений / П. С. Фишберн ; под ред. Н. Н. Воробьева. – М. : Наука, 1978. – 352 с.
11. Arrow K. Social choice and individual values / K. Arrow. – New-York : John Wiley and Sons, 1951. – 378 p.
12. Roberts F. S. Discrete mathematical models with application to social, biological and environmental problems / F. S. Roberts. – New Jersey : Prentice Hall, 1976. – 316 p.
13. Kemeny J. G. Mathematical Models in the Social Sciences / J. G. Kemeny, J. I. Snell. – New-York : Blaisdel Publishing Co, 1962. – 416 p.

УДК 629.78

**В.І. Присяжний**, канд. техн. наук

**І.М. Бутко**, канд. техн. наук

**В.В. Ожінський**, канд. техн. наук

**В.С. Мороз**, заступник начальника оперативно-інформаційного центру  
Національний центр управління та випробування космічних засобів, м. Київ, Україна

### МОДЕЛЬ ВИЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ ОДНОКАНАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

**В.И. Присяжний**, канд. техн. наук

**И.Н. Бутко**, канд. техн. наук

**В.В. Ожинский**, канд. техн. наук

**В.С. Мороз**, заместитель начальника оперативно-информационного центра  
Национальный центр управления и испытаний космических средств, г. Киев, Украина

### МОДЕЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ОДНОКАНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

**Volodymyr Prysiazhnyi**, PhD in Technical Sciences

**Ihor Butko**, PhD in Technical Sciences

**Victor Ozhinskyi**, PhD in Technical Sciences

**Viacheslav Moroz**, Deputy Chief of the Operative-Information Centre  
National Space Facilities Tests and Control Centre, Kyiv, Ukraine

### SINGLE CHANNEL SATELLITE IMAGERY DATA VISUALIZATION MODEL

*Запропоновано підхід до візуалізації монохромних супутникових зображень на основі адаптивних палітр кольорів, наведено алгоритм оброблення інформації. Показано результати оброблення зображень з використанням технологій на основі LUT характеристик.*

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, LUT характеристики, супутникові зображення.

*Предложен подход к визуализации монохромных спутниковых изображений на основе адаптивных палитр цветов, приведен алгоритм обработки информации. Показаны результаты обработки изображений с использованием технологий на основе LUT характеристик.*

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, LUT характеристики, спутниковые изображения.

*An approach to the visualization of gray satellite images based on adaptive palettes has been suggested. The results of image processing with LUT are shown.*

**Key words:** Earth remote sensing, lookup table, satellite images.

**Постановка проблеми.** Особливістю даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є їх висока інформативність. За секунду зазвичай отримується від сотень тисяч до десятків мільйонів вимірів випромінювання, яке надходить з боку поверхні Землі.

Радіоастрономічне зображення, здебільшого, не має великої кількості елементів, його автокореляційна функція не містить різких спадів, а просторовий спектр концентрується навколо області нульової просторової частоти (рис. 1). Дані такого типу легко дешифрувати.

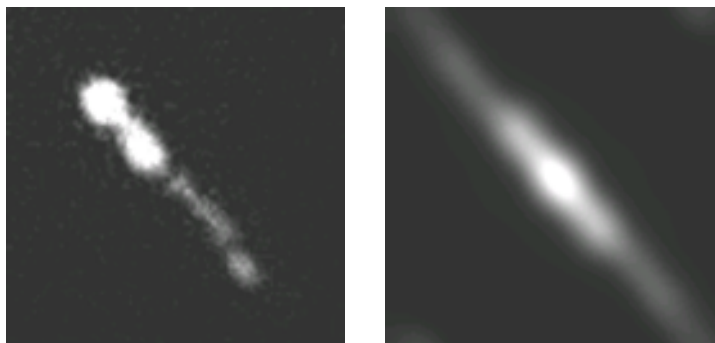


Рис. 1. Радіозображення джета квазара 3C 273 та автокореляційна функція його зображення

Космічні знімки поверхні Землі мають високу просторову інформаційну щільність. Кожний елемент масиву такої інформації може розглядатись як окремий інформаційний об'єкт. Просторова автокореляційна функція зображення земної поверхні у видимому діапазоні прямує до дельта-функції (рис. 2).



Рис. 2. Знімок радіометра Modis KA Terra, його автокореляційна функція

Інформаційна різноманітність зображення зростає з пониженням просторового розрізнення. Це відбувається внаслідок того, що велика кількість процесів та явищ, які впливають на вигляд земної поверхні, мають геометричні розміри, менші за розмір елементу розрізнення. Піксель має високу ступінь генералізації, тобто він утворюється внаслідок узагальнення великого обсягу відбитого від земної поверхні сонячного випромінювання. Значення одиничного елементу таких даних буде являти собою узагальнену суму всіх енергетичних потоків, які збуджують сенсор пристрою зарядового зв'язку (ПЗЗ). У таких умовах говорити про належність будь-якої ділянки зображення до певної групи об'єктів можна лише приблизно, навіть в умовах наявності великої кількості спектральних діапазонів зйомки. У зв'язку з цим виникають складнощі дешифрування зображень, які приводять до низької інформаційної віддачі дослідження даних ДЗЗ, у реальному житті. Особливо це стосується радіометрів та сканерів низького та середнього просторового розрізнення.

Зниження ефективності аналізу відбувається внаслідок таких причин: оперування великим обсягом інформації, відсутність чітких правил щодо класифікації типів об'єктів, які наявні на знімку, дані ДЗЗ не можуть бути представлені у звичному для людського сприйняття вигляді, тому їх важко аналізувати візуально, без допоміжної інформації. Більшість корисної інформації, похідної від інформації ДЗЗ, отримується за допомогою автоматичних розрахунків. Вони дозволяють отримати різноманітні індекси, координати теплових аномалій, просторові розподіли різних класів об'єктів. Незважаючи на існування великої кількості автоматизованих процедур оброблення космічної інформації візуальний аналіз знімків також відіграє важливу роль. Сучасні досягнення у сфері оброблення інформації відкривають нові можливості візуалізації даних ДЗЗ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оброблення космічної інформації тісно пов'язана з математичним обробленням зображень. Класичними публікаціями в цій галузі науки є роботи [1; 2]. Використання ГІС-технологій для аналізу й оброблення інформації ДЗЗ у задачах підготовки і прийняття рішень широко представлені в [3].

Традиційно засоби відображення космічних знімків використовують статичні палітри кольорів, зокрема градації яскравості. Нині завдяки новітнім технологіям існує можливість застосування більш ефективних способів відображення.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розроблення принципів побудови моделі відображення інформації ДЗЗ, яка динамічно змінює свої властивості відповідно до потреб оператора, для підвищення продуктивності його роботи. Результати дослідження можуть бути використані в розробленні окремих модулів перспективних геоінформаційних систем.

**Виклад основного матеріалу.** Найбільш актуальні завдання супутникового моніторингу направлені на спостереження за людською діяльністю. Їх успішне виконання ставить певні вимоги до системи ДЗЗ, а саме: просторове розрізнення знімку повинно на порядок перевищувати розміри просторових змін на поверхні Землі, радіометричне розрізнення та рівень шуму мають бути достатніми для визначення просторового розподілу фізичних величин, які реєструє сканер.

На перший погляд масштаби людського впливу на великі території здаються мізерні, проте поглиблений аналіз знімків вказує на існування великої кількості непрямих ознак людської діяльності. Завдяки цьому космічні знімки низького та середнього розрізнення завжди затребувані.

Одноканальне зображення зазвичай відображується в сірих тонах. Процедури відображення даних, переважно, не використовують інформацію з географічної бази знань. Разом з тим сучасні пакети геоінформаційних систем (ГІС) та програмні продукти з оброблення інформації ДЗЗ мають широкі можливості маніпуляцій з векторними шарами, записами БД та растровими даними. Існує безліч варіацій поєднання різнопланової інформації для підготовки вихідної продукції, а сучасні мультимедійні можливості дозволяють формувати динамічні звіти, які включають анімацію та інтерактивні об'єкти.

За результатами дослідження розроблено модель візуалізації одноканальних та панхроматичних знімків. Вхідні дані до моделі: двомірний масив даних зйомки, шари географічних карт, записи БД, додаткові матеріали. Вихідні дані моделі: фізичне динамічне зображення знімка з нанесеними шарами інформації.

На відміну від наявних способів відображення знімків у ГІС, під час відображення зображень пропонується використовувати адаптивні lookup table (LUT), які беруть до уваги не лише дані вхідного масиву, але й векторні пласти географічних даних та інформацію з маніпуляторів. Принцип роботи описано на рис. 3. Візуалізація знімка являє собою поелементне оброблення зображення. Кожному значенню вхідного масиву присвоюється псевдоколір згідно з LUT. Суть способу полягає в тому, що для відображення

використовується складна таблиця LUT, яка змінюється залежно від того, до якого класу об'єктів відноситься піксель.

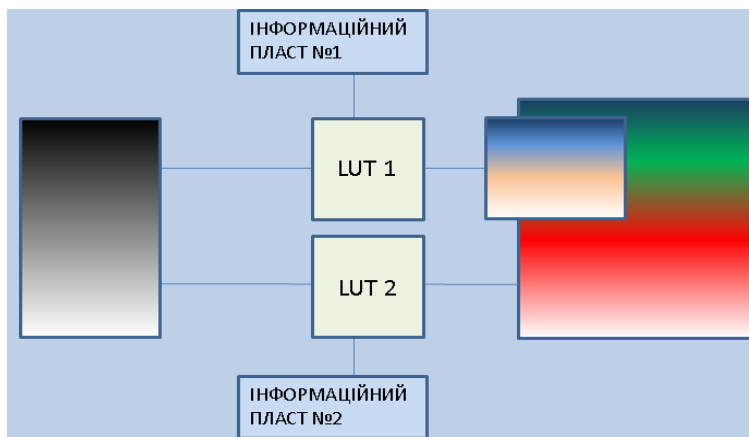


Рис. 3. Модель візуалізації даних ДЗЗ

Нехай маємо деякі об'єкти різних класів з відомими географічними координатами  $(x, y) \in U_i$ , тоді математично процес вибору LUT та її змін описується так

$$F(x, y, f) = N_i, \quad (1)$$

де  $F(x, y, f)$  – функція трансформування значення елемента в псевдокольорову палітру;

$U_i$  – множина класів об'єктів;

$x, y$  – географічні координати елемента зображення;

$f$  – значення елемента вхідного зображення;

$N_i$  – множина псевдокольникорів.

Таким чином, кожний клас об'єктів знімку на засобах відображення буде мати певні кольорові властивості. Наприклад, діапазон кольорів водних об'єктів може бути від темно-синього до яскраво-блакитного, а клас лісів від темно-зеленого до салатого.

Описаний спосіб відноситься до загальної методики візуалізації інформації ДЗЗ (рис. 4).

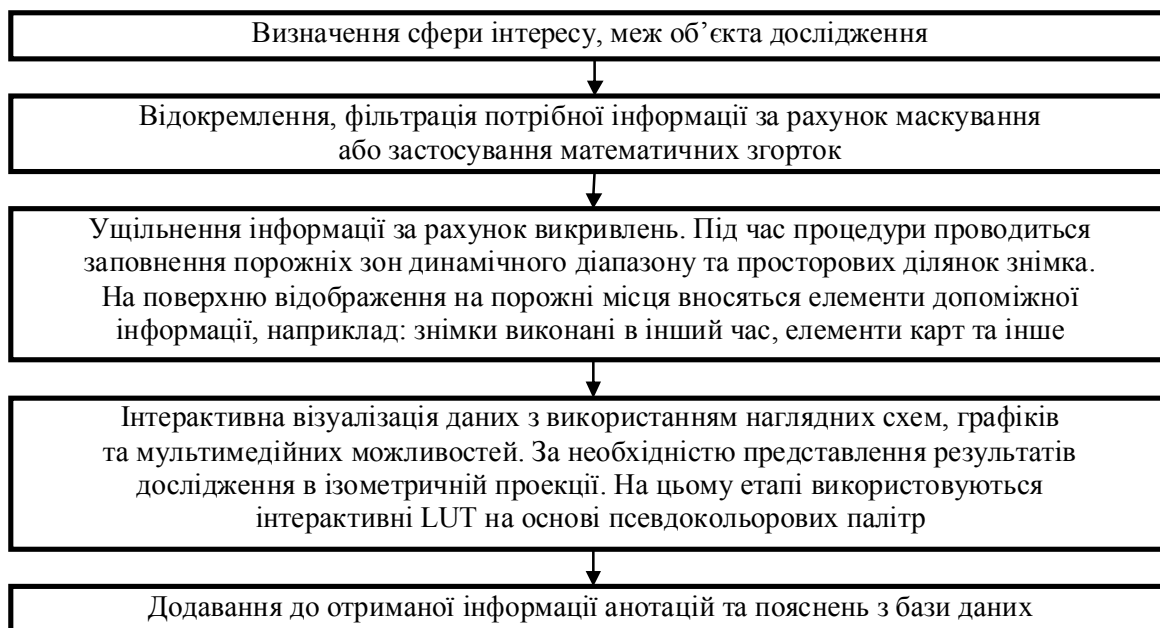


Рис. 4. Блок-схема проходження і перетворення інформації



Результати оброблення інформації за блок-схемою (рис. 4) з використанням адаптивних LUT наведені на рис. 5–10.



Рис. 5. Вхідне зображення

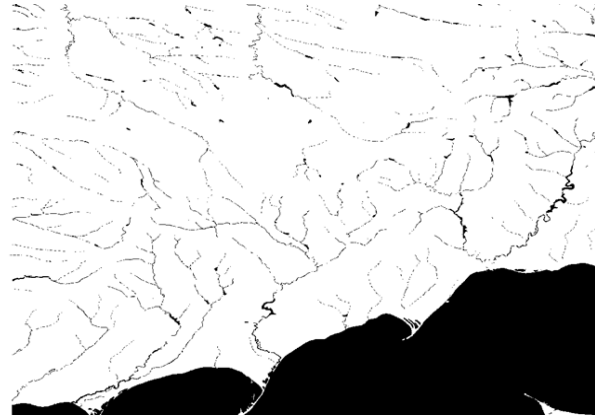


Рис. 6. Векторний шар водойми

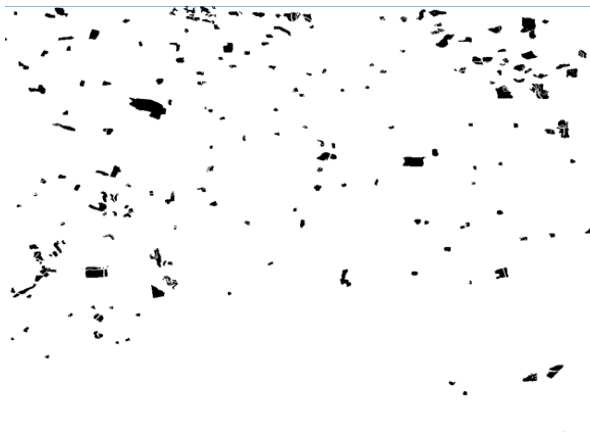


Рис. 7. Векторний шар лісових масивів

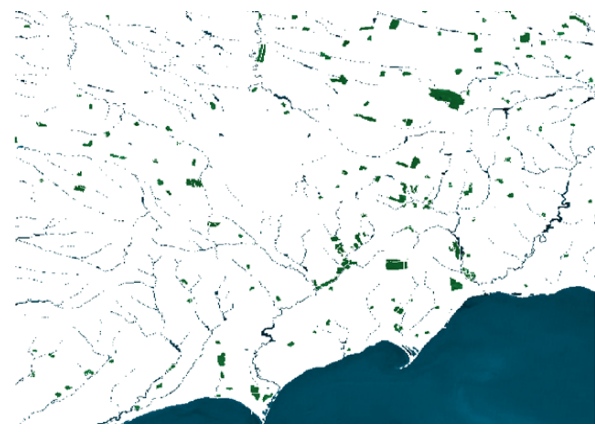


Рис. 8. Відокремлення інформації водойми та лісових масивів



Рис. 9. Застосування адаптивних LUT



Рис. 10. Поєднання інформації карти та об'єктів дослідження

На рис. 10 об'єкти дослідження, у статті водойми та лісові масиви, нанесено на карту.

**Висновки і пропозиції.** В роботі пропонується підхід до візуалізації монохромних супутникових зображень. Його особливістю є використання адаптивних LUT характеристик, які змінюються залежно від інформації географічних карт. Цей підхід полегшує аналіз зображень поверхні Землі фахівцям, які поверхнево володіють обробленням ін-

формації ДЗЗ, але є висококваліфікованими спеціалістами іншого профілю. Результатом є підвищення інформаційної віддачі корисної інформації з даних ДЗЗ.

#### Список використаних джерел

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : в 2 кн. Кн. 1 / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – 310 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2006. – 1072 с.
3. Основы геоинформатики : в 2 кн. Кн. 1 / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др. ; под ред. В. С. Тикунова. – М. : Академия, 2004. – 352 с.
4. Шовенгерт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгерт ; пер. с англ. А. В. Кирюшина. – М. : Техносфера, 2010. – 591 с.

УДК 004.056.5:004.057.42

**В.В. Соломаха**, ст. викладач

**М.В. Верьовко**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

#### ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ АСИМЕТРИЧНИХ КРИПТОСИСТЕМ

**В.В. Соломаха**, ст. преподаватель

**М.В. Вереvко**, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АСИММЕТРИЧНЫХ КРИПТОСИСТЕМ

**Valerii Solomakha**, senior teacher

**Mariia Verovko**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

#### THE STUDY OF ALGORITHMS FOR ASYMMETRIC CRYPTOSYSTEMS

*Стаття містить результати практичних досліджень сучасного алгоритму асиметричної криптосистеми RSA по швидкодії під час роботи з різним об'ємом інформації і з ключами різної довжини.*

**Ключові слова:** алгоритм шифрування, секретний та відкритий ключ, модуль, криптосистема, швидкодія.

*Статья содержит результаты практических исследований современных алгоритмов асимметричной криптосистемы RSA по быстродействию при работе с различным объемом информации и ключами разной длины.*

**Ключевые слова:** алгоритм шифрования, секретный и открытый ключ, модуль, криптосистема, быстродействие.

*The article contains the results of comparative studies of modern algorithms of asymmetric cryptosystem RSA on a fast-acting during work with the different volume of information and keys of different length.*

**Key words:** algorithm of encipherment, the secret and opened key modul, ckryptosystem, fast-acting.

**Постановка задачі.** Метою дослідження було порівняння роботи сучасного алгоритму асиметричної криптосистеми RSA під час шифрування (розшифрування) різних об'ємів інформації і при різних розмірах ключа.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** Вагомий внесок у дослідження криптографічних алгоритмів в останній час зробили як зарубіжні науковці (А. Ленстра і М. Манассі, Ж. Брассар), так і вітчизняні (В. Мельников, Б. Ключевський, П. Ісаєв, Д. Зегжда та ін.). Більшість наукових робіт з питань криптографічних систем з відкритим ключем присвячена принципам знаходження відкритих та закритих ключів, їх використанню під час шифрування та розшифрування, в яких практично не порівнюють їх характеристики. Так, не виявлено порівнянь швидкості роботи різних асиметричних криптосистем під час шифрування різних об'ємів інформації та ключами різної довжини.

**Мета статті.** Існує безліч (не менше двох десятків) алгоритмів асиметричних шифрів, істотними параметрами яких є:

- стійкість;
- довжина ключа;

- довжина оброблюваного блока;
- складність апаратної/програмної реалізації.

Метою дослідження було порівняння швидкодії алгоритму RSA під час шифрування (розшифрування) різних об'ємів інформації ключами різної довжини. Для цього використовувалася комп'ютерна система вивчення методів і засобів апаратно-програмного захисту інформації CRYPTO, яка написана мовою JAVA та дозволяє досліджувати криптографічні алгоритми і протоколи, формальні політики безпеки [5].

**Виклад основного матеріалу.** Застосування асиметричних алгоритмів шифрування (шифрування з відкритим ключем) вирішує основну проблему симетричних алгоритмів шифрування поширення симетричного ключа між учасниками системи. У 1976 р. публікується стаття «Новые направления в криптографии» Уїтфілда Діффі та Мартіна Хеллмана, під впливом роботи Ральфа Меркла – починається нова ера криптології з відкритими ключами.

У цьому випадку шифрування робиться відкритим ключем, а розшифрування – закритим ключем (рис.). Відкритий і закритий ключ пов'язані між собою, але не можуть бути отримані один з іншого.

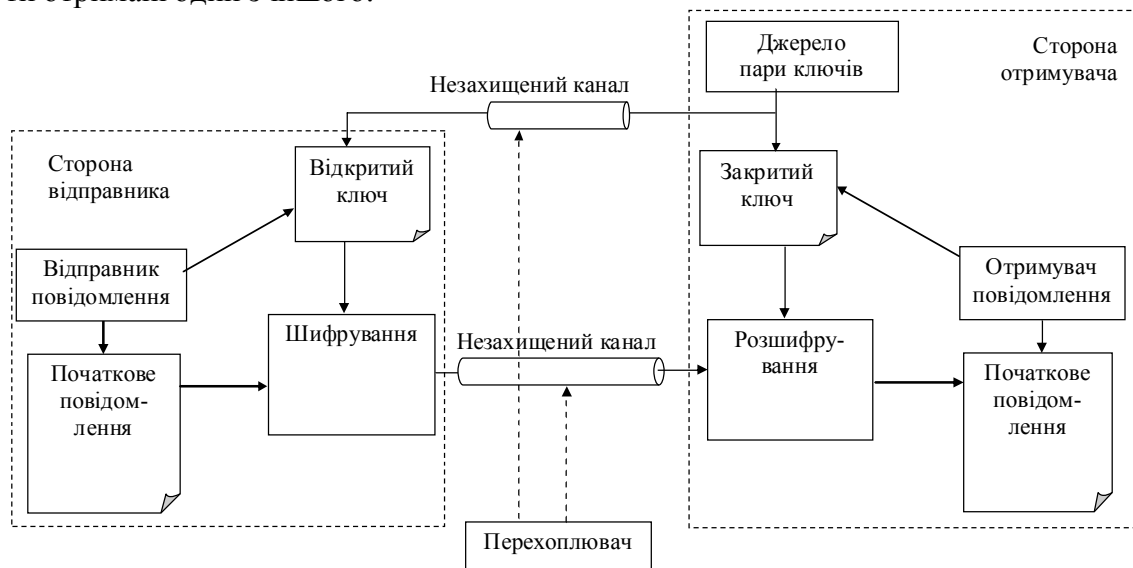


Рис. Схема асиметричного шифрування

Серед сучасних алгоритмів шифрування з симетричним ключем відомі і широко використовуються RSA (Rivest, Shamir, Aldeman) Ель Гамала, Поліга-Хеллмана, Рабіна та інші [6].

Асиметричні алгоритми шифрування ґрунтуються на застосуванні однонапрямлених функцій. Функція  $f: X \rightarrow Y$  є однонапрямлена, якщо для всіх  $x \in X$  можна легко вчислити функцію  $y = f(x)$ , де  $y \in Y$ . Але для більшості  $y \in Y$  досить складно отримати значення  $x \in X$ , таке, що  $f(x) = y$  (хоча воно існує).

Основний критерій однонапрямлених функцій: відсутність ефективних алгоритмів зворотного перетворення  $Y \rightarrow X$ . Такими функціями є [3]:

- факторизація;
- дискретне логарифмування.

Факторизація (розкладання на множники) великих чисел. Знаходження дільників  $P$  і  $Q$  великого цілого числа  $N = P \cdot Q$  є практично нерозв'язаною задачею при чималих значеннях  $N$ . За сучасними оцінками теорії чисел при цілому  $N \approx 2^{64}$  і  $P \approx Q$  для розкладання числа  $N$  буде потрібно близько  $10^{23}$  операцій, тобто задача практично нерозв'язна для сучасних ЕОМ.

Дискретне логарифмування: за відомими цілими  $A$ ,  $N$ ,  $y$  знайти ціле число  $x$ , таке, що  $A^x \bmod N = y$ . Якщо  $y = A^x$ , то природно  $x = \log_a(y)$ . Алгоритм обчислення дискретного логарифма за прийнятний час доки не знайдений. За сучасними оцінками теорії чисел при цілих числах  $A \approx 2^{664}$  і  $N \approx 2^{664}$  для вирішення завдання дискретного логарифмування потрібно близько  $10^{26}$  операцій, тобто в  $10^3$  раз більше обчислювальна складність, ніж завдання факторизації.

Криптосистема RSA створена у 1978 році [1]. Отримала назву від прізвищ розробників – Райвест, Шамир, Адлеман (США). Це перший повноцінний алгоритм з відкритим ключем, може працювати як у режимі шифрування даних, так і в режимі електронного цифрового підпису.

У криптосистемі RSA відкритий ключ  $K_B = e$ , секретний ключ  $k_B = d$ , повідомлення  $M$  та криптограма  $C$  належать множині цілих чисел

$$Z_N = \{0, 1, 2, \dots, N-1\}, \text{ де } N \text{ — модуль, } N = P \cdot Q.$$

Тут  $P$  і  $Q$  – випадкові великі прості числа. Для забезпечення максимальної безпеки вибирають  $P$  і  $Q$  рівної довжини і зберігають у таємниці.

Відкритий ключ  $K_B$  вибирають випадковим способом так, щоб виконувалися умови:

$$1. 1 < K_B \leq \varphi(N),$$

$$2. \text{НОД}(K_B, \varphi(N)) = 1, \varphi(N) = (P-1)(Q-1), \text{ де } \varphi(N) \text{ — функція Ейлера.}$$

Далі, використовуючи розширений алгоритм Евкліда, обчислюють секретний ключ  $k_B$ , такий, що  $k_B \cdot K_B \equiv 1 \pmod{\varphi(N)}$  або  $k_B = K_B^{-1} \pmod{(P-1)(Q-1)}$ . Це можна здійснити, якщо одержувач  $B$  знає пару простих чисел  $(P, Q)$  і може легко знайти  $\varphi(N)$ , при цьому  $k_B$  і  $N$  мають бути взаємно простими.

Відкритий ключ  $K_B$  використовують для шифрування даних, а секретний ключ  $k_B$  – для розшифрування. Перетворення шифрування визначає криптограму  $C$  через пару (відкритий ключ  $K_B$ , повідомлення  $M$ ) відповідно до такої формули

$$C = E_{K_B}(M) = E_B(M) = M^{K_B} \pmod{N}.$$

Припустимо: користувач  $A$  хоче передати користувачу  $B$  повідомлення, яке зашифроване, криптосистемою RSA. Таким чином, користувач  $A$  є відправником повідомлення, а користувач  $B$  – отримувачем. Криптосистему RSA повинен сформував отримувач повідомлення, тобто користувач  $B$ . Послідовність дій користувачів  $B$  та  $A$  такі.

Користувач  $B$  вибирає два довільно великих простих числа  $P$  і  $Q$ . Користувач  $B$  обчислює значення модуля  $N = P \cdot Q$ . Користувач  $B$  обчислює функцію Ейлера

$$\varphi(N) = (P-1)(Q-1)$$

і вибирає випадковим способом значення відкритого ключа  $K_B$  з урахуванням виконаних умов:  $1 < K_B \leq \varphi(N)$ ,  $\text{НОД}(K_B, \varphi(N)) = 1$ .

Користувач  $B$  обчислює значення секретного ключа  $k_B$ , використовуючи розширений алгоритм Евкліда під час вирішення порівняння  $k_B = K_B^{-1} \pmod{\varphi(N)}$ .

Користувач  $B$  пересилає користувачеві  $A$  пару чисел  $(N, K_B)$  по незахищеному каналу.

Якщо користувач  $A$  хоче передати користувачеві  $B$  повідомлення  $M$ , він виконує такі кроки. Користувач  $A$  розбиває вихідний відкритий текст  $M$  на блоки, кожен з яких може бути представлений у вигляді числа.

Користувач  $A$  шифрує текст, представлений у вигляді послідовності чисел  $M_i$ , за формулою  $C_i = M_i^{K_B} \pmod{N}$  і відправляє криптограму  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$  користувачеві  $B$ .

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Користувач В розшифровує прийнятну криптограму, використовуючи секретний ключ  $k_B$  за формулою  $M_i = C_i^{k_B} \pmod{N}$ .

У результаті буде отримана послідовність чисел  $M_i$ , які є вихідним повідомленням М. Щоб алгоритм RSA мав практичну цінність, необхідно мати можливість без істотних витрат генерувати великі прості числа, вміти оперативно обчислювати значення ключів  $k_B$  і  $K_B$  [2].

Порівняння симетричних та асиметричних криптосистем [3]:

Головною гідністю криптосистем з відкритим ключем є їх потенційно висока безпека: не треба передавати значення секретних ключів.

У симетричних криптосистемах існує небезпека розкриття секретного ключа під час передачі.

Недоліки асиметричних криптосистем:

- генерація нових ключів ґрунтується на генерації великих простих чисел, а перевірка простоти чисел займає багато процесорного часу;
- процедури, пов'язані з піднесенням до степеня багатозначного числа, досить громіздкі.

Тому швидкодія криптосистем з відкритим ключем у сотні і більше разів менше швидкодії симетричних криптосистем з секретним ключем.

Криптосистеми реалізуються як апаратно, так і програмно.

Для апаратної реалізації розроблені спеціальні процесори на (СВІС), що дозволяють виконувати піднесення великих чисел до колосально великого степеня за модулем N за відносно коротким часом.

Кращими з них є ті, що серійно випускаються, тобто процесори фірми CYLINK, які виконують 1024-бітове шифрування RSA.

**Результати досліджень.** Швидкодія алгоритму RSA під час шифрування та розшифрування різних об'ємів інформації довжиною від 100 до 1000 біт та при розмірах ключа від 1000 до 20 000 біт.

**Висновки і пропозиції.** 1. Середній час шифрування та розшифрування повідомлень 1 мс.

2. Чим довший ключ, тим довше відбувається дешифрування.

3. Чим довший ключ, тим швидше відбувається шифрування.

4. Апаратна реалізація асиметричної криптосистеми  $\approx$  в 1000 разів повільніше за апаратну реалізацію симетричного криптоалгоритму.

5. Програмна реалізація RSA  $\approx$  в 100 разів повільніше DES.

З розвитком комп'ютерних технологій ці оцінки можуть дещо змінюватися, але асиметрична криптосистема ніколи не досягне швидкодії симетричних криптосистем [6]. Головна гідність криптосистем з відкритим ключем є їх потенційно висока безпека: не треба передавати значення секретних ключів.

У симетричних криптосистемах існує небезпека розкриття секретного ключа під час передачі.

Але в асиметричних криптосистем є і недоліки:

- генерація нових ключів ґрунтується на генерації великих простих чисел, а перевірка простоти чисел займає багато процесорного часу;
- процедури, пов'язані з піднесенням до степеня багатозначного числа, досить громіздкі.

Поширені довжини ключів симетричних і асиметричних криптосистем, для яких труднощі атаки повного перебору приблизно дорівнюють труднощам факторизації відповідних модулів асиметричних криптосистем (табл.).



Довжини ключів [7]

Довжина ключа симетричної криптосистеми, біт	Довжина ключа асиметричної криптосистеми, біт
56	384
64	512
80	768
112	1792
128	2304

Тому швидкодія криптосистем з відкритим ключем звичайно в сотні і більше разів менше швидкодії симетричних криптосистем з секретним ключем.

Ось чому застосовується комбінований (гібридний) метод шифрування: поєднання високої секретності асиметричних криптосистем з високою швидкістю роботи симетричних криптосистем: криптосистема з відкритим ключем застосовується для шифрування, передачі і подальшого розшифрування тільки секретного ключа симетричної криптосистеми, яка застосовується для шифрування і передачі початкового відкритого тексту. Це схема електронного цифрового конверта.

#### Список використаних джерел

1. Диффи У. Защищенность и имитостойкость: Введение в криптографию / У. Диффи, М. Э. Хэллман // ТИИЭР. – 1979. – Т. 67, № 3. – С. 71–109.
2. Зегжда Д. П. Основы безопасности информационных систем / Д. П. Зегжда, А. М. Ивашко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 496 с.
3. Мельников В. В. Защита информации в компьютерных системах / В. В. Мельников. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 368 с.
4. Программирование алгоритмов защиты информации / А. В. Домашев, В. О. Попов, Д. И. Правиков, И. В. Прокофьев, А. Ю. Щербаков. – М.: Нолидж, 2000. – 288 с.
5. Романец Ю. В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин. – М.: Радио и связь, 1999. – 328 с.
6. Столингс В. Криптография и защита сетей / В. Столингс. – М.: Вильямс, 2001. – 672 с.
7. Яценко В. В. Введение в криптографию / В. В. Яценко. – СПб.: Питер, 2001. – 288 с.

УДК 519.8

**Ю.М. Гебура**, аспірант

Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

#### ПРИНЦИПИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЕРЕВОПОДІБНИХ РОЗПІЗНАВАЛЬНИХ СИСТЕМ

**Ю.М. Гебура**, аспірант

Ужгородский национальный университет, г. Ужгород, Украина

#### ПРИНЦИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДРЕВОВИДНЫХ РАСПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**Yurii Hebura**, PhD student

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

#### PRINCIPLES OF MATHEMATICAL MODELLING OF TREELIKE RECOGNITION SYSTEMS

*Розглянуто принципи математичного моделювання деяких деревоподібних розпізнавальних систем, де система різницевих рівнянь, із вбудованими в них графіками подій, може бути вирішена аналітично для траєкторії системи. Деревоподібні розпізнавальні системи є дискретними подіями ієрархічних систем. Представлені імітаційні моделі є основними принципами математичного моделювання деревоподібних розпізнавальних систем, які мають явні переваги у порівнянні з керованими моделями моделювання.*

**Ключові слова:** математичне моделювання, деревоподібні розпізнавальні системи, ієрархічні системи, граф, імітаційна модель.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*Рассмотрены принципы математического моделирования некоторых древовидных распознавательных систем, где система разностных уравнений со встроенными в них графиками событий может быть решена аналитически для траектории системы. Древовидные распознавательные системы являются дискретными событиями иерархических систем. Представленные имитационные модели выступают основными принципами математического моделирования древовидных распознавательных систем, которые имеют явные преимущества по сравнению с управляемыми моделями моделирования.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, древовидные распознавательные системы, иерархические системы, граф, имитационная модель.

*In this work are considered some of the principles of mathematical modeling of tree recognition systems, where the system of difference equations, with the built-in schedule of events can be solved analytically for the trajectory of the system. Tree-recognition systems are hierarchical systems of discrete events. Presented simulation models are the basic principles of mathematical modeling of tree recognition systems, which have obvious advantages compared to model-driven simulation.*

**Key words:** mathematical modeling, tree recognition systems, hierarchical systems, graph, simulation model.

**Постановка проблеми.** Динаміка безперервних розпізнавальних систем часто моделюється набором диференціальних рівнянь, що виражають відносини між часом змін у значеннях стану системи. Враховуючи початковий стан і граничні умови, ці рівняння повністю формують модель динамічної поведінки системи. Знайти шлях системи руху (траєкторії), який описує ця система диференціальних рівнянь, можна аналітично. Тим не менш багато цікавих моделей занадто складні для запропонованого методу рішення і повинні бути змодельовані за допомогою чисельного інтегрування в набір диференціальних рівнянь. Якщо розпізнавальна система моделюється за допомогою випадкових процесів, то моделювання може бути використане для створення траєкторій для статистичного аналізу. Аналогічним чином відносини між змінами у значеннях змінних стану (подій) у дискретній системі подій можуть бути змодельовані за графіком подій. Вершини графа являють собою зміну стану, а ребра графа – це динамічні та логічні відносини між цими змінами. Графік подій, поряд з початковими умовами, повністю визначає динаміку дискретної системи подій. Як і у випадку безперервних систем, динаміка більшості моделей дискретної системи подій є складною сферою і повинна бути змодельована. В межах цієї статті розглянемо принципи математичного моделювання деяких деревоподібних розпізнавальних систем, де система різницевих рівнянь із вбудованими в них графіками подій може бути вирішена аналітично для траєкторії системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання математичного моделювання складних систем на сьогодні доволі повно розкрито у працях таких відомих учених, як: В.Є. Бахрушин [1], Л.Н. Сергєєва [2], Б. Оксендаль [3], Б.Я. Советов, С.А. Яковлев [4], В.М. Томашевський [5; 6] та ін.

Дж. Ту, Р. Гонсалес у своїй праці «Принципы распознавания образов» [7] наводять методи побудови систем, що розпізнають, і систему оброблення великих інформаційних масивів. Автори розглядають основні постановки завдань і найважливіші моделі алгоритмів (комбінаторно-логічні, статистичні та лінгвістичні). Виклад ведеться на досить високому рівні математичної строгості.

Особливість цієї роботи полягає в тому, що проблеми розглядаються у тісному зв'язку із завданнями ефективного оброблення інформації, причому теорія розпізнавання є самостійним напрямом прикладної математики зі своїми завданнями, апаратом і методологією.

Стосовно математичної теорії розпізнавання варто виділити роботи таких науковців, як М.Б. Айдарханов [8], О.О. Большаков, Р.І. Карімов [9].

Принципи графічного моделювання розкривають D. and L. Schruben [10], T. Yeh, J. Lee and T. Darrell [11], O. Voiman, E. Shechtman and M. Irani [12].

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень відносно математичного моделювання розпізнавальних систем, питання висвітлення та розмежування принципів залишається відкритим і сьогодні.

**Виклад основного матеріалу.** В умовах сьогодення, враховуючи стрімкий розвиток програмних інформаційних технологій, деревоподібні розпізнавальні системи виходять на перший план у сферах генерації формальних описів класів, формуванні графових моделей динаміки системи, організації структур різних типів даних тощо.

У загальному представленні описувані моделі своєю суттю складають безліч кінцевих зв'язкових орграфів, які задаються співвідношенням:

$$S = \{V, D\}. \quad (1)$$

де  $V$  – це множина вершин;

$D$  – множина орієнтованих ребер.

У загальному відношенні орграф сприймається як оргдерево, що походить від кореня. Так, будь-яке дерево класифікується за такими параметрами:

- 1) кількістю елементів множини вершин;
- 2) стабільністю розподілення вершин стосовно рівнів;
- 3) ступенем вихідної величини для кожної окремої вершини;
- 4) числом вихідних дуг вершини;
- 5) відношенням підмножини до множини.

Описи об'єктів, лінгвістичні та булеві змінні, предикати використовуються як перетворювачі в різних деревоподібних розпізнавальних структурах. Як наслідок, такі моделі являють собою ті чи інші вирішальні функції.

Слід наголосити, що деревоподібні розпізнавальні системи є дискретними подіями ієрархічних систем. Моделі графіка подій для деяких систем масового обслуговування мають розширені траєкторії й описуються в межах математичної оптимізації. У межах цієї наукової роботи будемо позначати клас графових моделей подій математичного моделювання як  $S$ . Підмножина,  $L \subset S$ , містить графіки подій, розширена траєкторія може бути знайдена як рішення задачі лінійного математичного моделювання.

Математична модель для динаміки системи розпізнає обмеження, які повинні бути виконані у відповідній задачі оптимізації планування ресурсів. Замість генерації обмежень планування (одноранговий процес), ці обмеження можуть бути отримані більш-менш методично з динамічної моделі системи. Ще одна причина застосування аналітичної моделі для деревоподібних розпізнавальних систем – можливість «запуску» імітаційної моделі у  $S$  системі, вирішуючи відповідну задачу оптимізації. Як альтернатива, імітаційна модель може бути виконана звичайним способом, щоб забезпечити оптимальне рішення задачі оптимізації. Тоді це рішення може бути використано як початкове місце для проведення аналізу чутливості продуктивності системи параметричних та структурних змін. Математичне моделювання також застосовується для структуризації підсистеми ієрархічної моделі.

До ресурсів керованого моделювання відноситься граф, подія, клас. Представлені імітаційні моделі виступають основними принципами математичного моделювання деревоподібних розпізнавальних систем, які мають явні переваги у порівнянні з керованими моделями (процес) моделювання.

Поширений спосіб моделювання багатьох розпізнавальних систем – це граф з перехідною схемою [13]. Вершини цього графа – змінні стану системи. В межах його виконання навіть простій  $M/M/1$  черзі потрібна діаграма переходів з нескінченною кількістю вершин.

Більш компактне представлення графа для динаміки розпізнавальної системи представлятимуть тільки зміни у стані системи від вершини. Кожна вершина у цьому графі являє собою одне або більше різницевих рівнянь, які визначають зміни стану, пов'язані з системною подією. Такий графік називається граф подій [14]. Вершини графа подій являють собою зміни стану, які виникають, коли відбувається певна подія. Ці вершини



з'єднані ребрами, що представляють відносини між подіями. Ребро у графі подій показано на рис. 1.

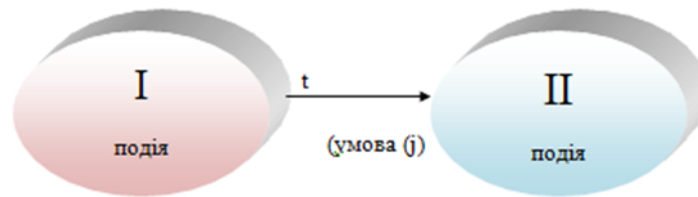


Рис. 1. Елемент з графіка подій

Рис. 1 інтерпретується таким чином: кожного разу, коли відбувається подія I, якщо умова (j) виконується, подію II буде призначено після затримки t.

Зміни стану, пов'язані з кожною подією, з'являються як вершинні умови в дужках. Значення параметрів можуть бути передані як аргументи для вершин подій, що дозволяють моделювати дуже великі системи розпізнавання з невеликими графіками. Значення параметрів вершин різні для кожного вузла. Будь-який з об'єктів у графі подій сам може бути графіком подій.

Розглянемо просту модель графіка подій (рис. 2).

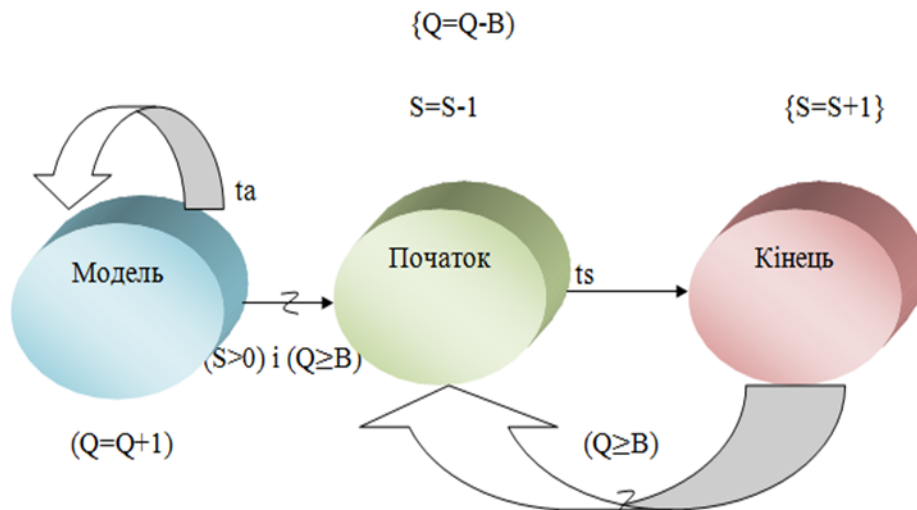


Рис. 2. Пакетне оброблення R паралельних ресурсів; Q – довжина черги; B – розмір партії; S – вільні ресурси; ts – початковий час; ta – час моделі

Джерело: розроблено автором на основі [4; 15].

Спочатку черга передбачається порожньою з усіма ресурсами простою. Таким чином, початкове значення довжини лінії, Q встановлюється рівним нулю, а початкове значення для числа вільних ресурсів S встановлюється рівним R. Єдина подія, яка спочатку планувалася – перша подія «Модель», у нульовий момент часу. Звичайно, є кілька еквівалентних графіків подій для цієї системи. Справді, окремі випадки системи можуть бути змодельовані з єдиним «Кінцем» вершини подій.

Дискретна ієрархічна система подій використовує чисельний алгоритм моделювання та ступінчастий підхід, які іноді називають «керованою роботою» або «взаємодією процесів» [14].

Перевагою використання моделі графа є те, що детальні опрацювання окремих робочих місць можна легко відстежити. Основним недоліком роботи керованого моделювання є те, що кожен раз, коли моделювання стає дуже перевантаженим, обсяг пам'яті збільшується, а його виконання сповільнюється або зупиняється повністю.

У моделі, розглянутій у цій роботі, індивідуальні тимчасові об'єкти у системі є пасивними, вони «переїхали» або «оброблені» за ресурсами системи. Будемо називати

такі імітаційні моделі «ресурс» керованого моделювання. Стан системи описується наявністю ресурсів та пунктів роботи. Таким чином, усі змінні стану в моделюванні на основі наявних ресурсів невід'ємні цілі числа.

Щоб перевірити істинність умов, застосовується процес підрахунку точкових подій. Тобто кількість разів, що подія  $E$  відбулася в часі  $t$ , задається безперервною функцією лічильної події.

$$C_E(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \max\{i; E_i \leq t + \varepsilon\}. \quad (2)$$

Використовуємо відносини між подією та її точковим процесом підрахунку:

$$E_i \leq t \leftrightarrow C_E(t) \geq i. \quad (3)$$

Цей зв'язок підсилює прогресії часу: якщо поява  $i$  подій  $E$  в часі  $t$ , то це повинно було статися принаймні  $i$  раз за часом  $t$ .

Число робочих місць у черзі в момент часу  $t$ ,  $Q(t)$  дорівнює числу прибулих подій мінус число початкових подій, або,

$$Q(t) = C_A(t) - B \cdot C_S(t). \quad (4)$$

У процесі моделювання  $Q(t)$  повинно бути більше нуля.

Наступним альтернативним рішенням виступають деревоподібні системи прийняття рішень, які спрямовані на створення додаткових систем завдяки зміщенню покоління дерева рішень за поділом загальної структури. А також отримання стандартних статистичних даних для генерації дерева рішень.

$$l(\tilde{W}|M) = \left(1 - P(\tilde{W}|O_i M)\right)^\alpha. \quad (5)$$

Далі за допомогою перемноження кількості помилок на загальну систему отримуємо рівень розпізнання системи

$$\sum_i \gamma_j(t) O_i \rightarrow \sum_i l_j(t) \gamma_j(t) O_i. \quad (6)$$

Отже, що розпізнавальна система вийде на максимально точний результат. Цей принцип з використанням дерев рішень, спрямований на будівництво тільки однієї додаткової системи. Хоча важливо зазначити, що цей принцип легко розширити до побудови декількох додаткових систем, що використовують ітеративні рамки. По-перше, необхідно враховувати, як змінюється розрахунок функції втрат під час навчання системи, як вихід доповнення ряду попередніх моделей  $M^1 - M^s$ :

$$l(\tilde{W}|M^1 \dots M^s) = \left(1 - P_{avg}(\tilde{W}|O_i M^1 \dots M^s)\right)^\alpha. \quad (7)$$

Система  $M^{s+1}$  доповнює систему  $M^1 - M^s$ , хоча вона може бути використана для альтернативної побудови декількох додаткових систем. На рисунку 3 показано цю структуру. Спочатку перша система навчається за рахунок базової лінії. Потім друга система навчається комплементарно як за рахунок базової лінії, так і першої додаткової системи. Це може бути повторено з отриманням ряду систем, які доповнюють один одного. Перевага цього ітеративного підходу в тому, що порядок комбінації тепер подається як порядок систем, які були побудовані.

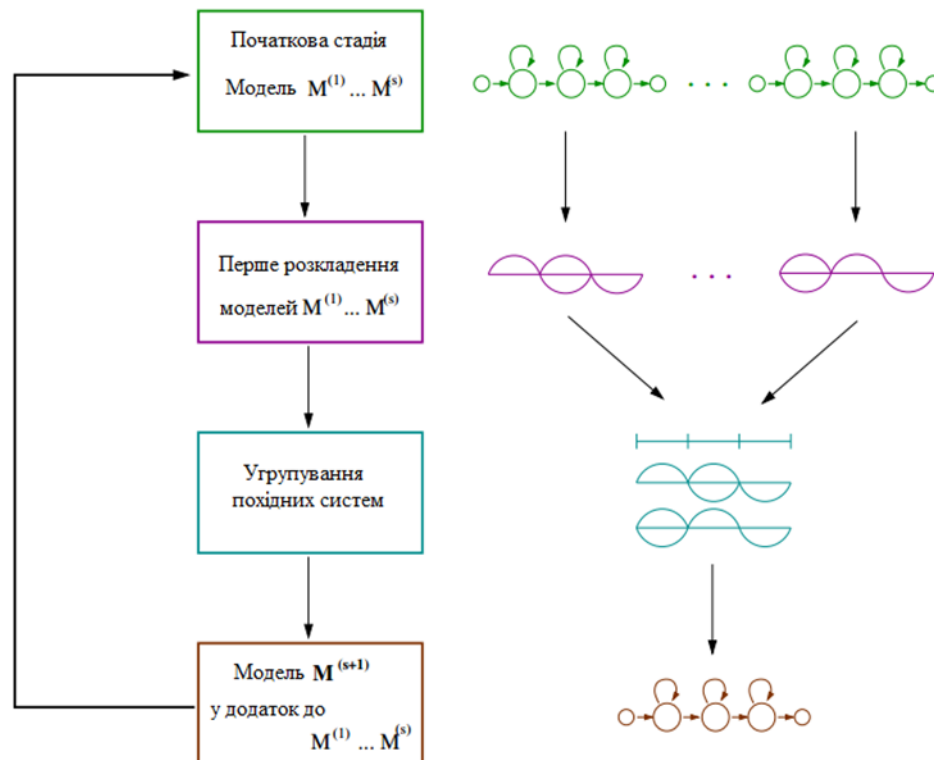


Рис. 3. Алгоритм створення декількох взаємодоповнюючих розпізнавальних систем  
 Джерело: розроблено автором на основі [3; 16].

**Висновки і пропозиції.** Математичне моделювання деревоподібних розпізнавальних систем головним чином походить від побудови орграфів, які сприймаються як оргдерева, що походять від кореня. Загальний принцип моделювання впливає з формування вирішальних функцій, які складають загальну систему рівнянь, рішення якої сприймається як модель, що має розширені траєкторії, й описується в межах математичної оптимізації. Також важливим аспектом є те, що система різницевих рівнянь з вбудованими в них графіками подій може бути вирішена аналітично для траєкторії системи.

#### Список використаних джерел

1. Бахрушин В. Є. Математичне моделювання : навчальний посібник / В. Є. Бахрушин. – Запоріжжя : ГУ «ЗІДМУ», 2004. – 140 с.
2. Сергеева Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) / Л. Н. Сергеева. – Запорожье : ЗГУ, 2002. – 154 с.
3. Оксендаль Б. Стохастические дифференциальные уравнения. Введение в теорию и приложения / Б. Оксендаль. – М. : Мир, 2003. – 186 с.
4. Советов Б. Я. Моделирование систем. Практикум : учеб. пособие для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высш. шк., 2006. – 295 с.
5. Томашевський В. М. Імітаційне моделювання систем і процесів / В. М. Томашевський. – К. : ІСДО, 1994. – 124 с.
6. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К. : ВНУ, 2005. – 352 с.
7. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М. : Мир, 1978. – 267 с.
8. Айдарханов М. Б. Метрический и структурный подходы к построению групповых классификаций / М. Б. Айдарханов. – Алматы : Гылым, 1994. – 56 с.
9. Большаков А. А. Методы обработки многомерных данных и временных рядов : учебное пособие для вузов / А. А. Большаков, Р. И. Каримов. – М., 2007. – 522 с.
10. Schruben, D., Schruben, L. (2000), Graphical simulation modeling using SIGMA, Custom Simulations, 653 p.

11. *Yeh, T., Lee, J., Darrell, T. (2007), Adaptive vocabulary forest for dynamic indexing and category learning, ICCV, 232 p.*
12. *Boiman, O., Shechtman, E., Irani, M. (2008), In defense of nearest-neighbor based image classification, CVPR, 113 p.*
13. *Breslin, C. Gales, M.J.F.(2007), "Complementary system generation using directed decision trees," in Proceedings, 154 p.*
14. *Bloch, I., Bretto, A. Mathematical Morphology on Hypergraphs: Preliminary.*
15. *Definitions and Results. In: Debled-Rennesson, I., Domenjoud, E., Kerautret, B., Even, P. (eds.) (2011), DGCI 2011. LNCS. – Vol. 6607. – P. 429–440. Springer, Heidelberg.*
16. *Bloch, I., Bretto, A. (2013), Mathematical morphology on hypergraphs, application to similarity and positive kernel. Computer Vision and Image Understanding 117(4). – P. 342–354.*

УДК 331.543-047.22:005.311.6-044.3

**О.І. Лактіонов**, аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна

### **МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ФАХІВЦІВ СУЧАСНИХ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ**

**А.И. Лактионов**, аспирант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина

### **МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ СОВРЕМЕННЫХ ВИСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Oleksandr Laktionov**, PhD student

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

### **MODEL OF EVALUATION OF LEVEL OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF SPECIALISTS OF MODERN HI-TECH PRODUCTIVE PROCESSES**

*Запропоновано модель оцінювання рівня професійної компетентності фахівців сучасних високотехнологічних виробничих процесів, яка описує всі складові, необхідні для розроблення автоматизованої системи, що дозволить реалізувати технологію оцінювання рівня компетентності співробітника.*

**Ключові слова:** компетентність, виробничі процеси, автоматизовані системи, модель.

*Предложена модель оценивания уровня профессиональной компетентности специалистов современных высокотехнологических производственных процессов, которая описывает все составляющие, необходимые для разработки автоматизированной системы, что позволит реализовать технологию оценивания уровня компетентности сотрудника.*

**Ключевые слова:** компетентность, производственные процессы, автоматизированные системы, модель.

*The model of evaluation of level of professional competence of specialists of modern hi-tech productive processes is offered in the article, which describes all constituents, necessary for development of CAS, which will allow to realize technology of evaluation of level of competence of employee.*

**Key words:** competence, manufacturing processes, automated system, model.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для підвищення ефективності сучасних високотехнологічних виробничих процесів необхідно мати оцінювати компетентність фахівців з автоматизації цих процесів, які дозволяють якісно проводити підбір і розставлення кадрів по ключових позиціях підприємства [1–8].

**Постановка проблеми.** Для оцінювання компетентності фахівців, як засіб контролю, можна застосовувати автоматизовані системи контролю знань і вмінь комп'ютеризованих систем навчання, які є діалектичним розвитком технічних засобів контролю знань на вищому якісному рівні. Досвід роботи в цьому напрямі, аналіз досліджень [1] показують, що розроблення і впровадження таких систем вимагає появи нових методів, моделей і технологій контролю (оцінювання), для яких необхідно, передусім, здійснити формалізацію складових процесу оцінювання індивідуальної компетентності фахівця з автоматизації виробничих технологічних процесів.

**Метою роботи** є розроблення моделі оцінювання рівня професійної компетентності фахівців сучасних високотехнологічних виробничих процесів, що описує всі складові, необхідні для розроблення автоматизованої системи, яка дозволить реалізувати технологію оцінювання рівня компетентності співробітника.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** *Компетентнісний підхід* до оцінювання фахівців сучасних високотехнологічних виробничих процесів означає, що результат оцінювання діагностується як підготовленість фахівців (також і ступінь його підготовленості) до здійснення професійної діяльності, такого, що має не тільки знання, вміння і навички зі спеціальності підготовки, але й такі особистісні якості, як мотивація до продуктивної діяльності, рівень розвитку інтелекту, ступінь засвоєння культурних та етичних норм та інших якостей соціального і гуманітарного характеру.

У наукових публікаціях з проблем оцінювання фахівців розглядаються різні підходи до структурування видів компетенцій. Усі види компетенцій можна об'єднати у три групи [1].

*Перша група* об'єднує компетенції, що відносяться до самої людини як особистості, суб'єкта діяльності та спілкування. До цієї групи входять компетенції: збереження здоров'я; ціннісно-смилова; громадянськості; самовдосконалення та саморозвитку.

*Друга група* об'єднує компетенції, що відносяться до соціальної взаємодії людини та соціальної сфери. До цієї групи входять компетенції: інтеграції знання; соціальної взаємодії; спілкування.

*Третя група* об'єднує компетенції, що відносяться до діяльності людини: пізнавальна, інформаційно-технологічна, предметна.

Тобто такий поділ компетенцій на групи повністю збігається з рекомендаціями Комісії європейських спільнот щодо складових компетенцій фахівця.

Виходячи з наведених вище компетенцій, можна перейти до визначення компетентності фахівця сучасних високотехнологічних виробничих процесів, розуміючи під компетентністю якість фахівця, який має вищу освіту певного ступеня (бакалавр, магістр), що виражається в готовності (здатності) на його основі до успішної (продуктивної, ефективної) діяльності з урахуванням її соціальної значущості і соціальних ризиків, які можуть бути з нею пов'язані. Метою ж оцінювання рівня компетентності є визначення міри відповідності співробітника обійманій посаді.

Для ілюстрації компетентнісного підходу до оцінювання фахівців сучасних високотехнологічних виробничих процесів нижче наводиться табл., де три групи компетентностей поділяються на складові, а для якісного оцінювання кожної з них використовуються характеристики, запропоновані в роботі [1]. Ці характеристики використовуються як *критерії кількісних оцінок* кожної складової компетентності й інтегральної компетентності фахівця.

У прикладі (табл.) з метою скорочення її об'єму, наведено далеко не всі складові кожної групи компетентностей. Визначення повного переліку складових компетентностей кожної групи та їх найменувань є предметом самостійних досліджень. Згідно з табл. інтегральна оцінка компетентності фахівця  $O_K$  буде визначатися сумою оцінок  $O_i$  трьох груп компетентностей з урахуванням їх вагових коефіцієнтів  $\alpha_i$ :

$$O_K = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot O_i . \quad (1)$$

Чисельне значення вагових коефіцієнтів кожної групи компетентностей  $\alpha_i$  можуть бути визначені завдяки опитуванню експертів. Ці значення залежать від вимог до компетентностей фахівців залежно від особливостей високотехнологічних виробничих процесів та соціальної сфери, в якій ця діяльність здійснюється.

Види компетентностей фахівця високотехнологічних виробничих процесів (приклад)

Види компетентностей фахівця високотехнологічних виробничих процесів	Характеристики складових компетентностей					Оцінка складових компетентностей фахівця
	Готовність до прояву компетентності (мотиваційний аспект)	Володіння знанням змісту компетентності (когнітивний аспект)	Прояв компетентності в стандартних і нештатних ситуаціях (поведінський аспект)	Ставлення до змісту компетентності та об'єкта її прикладання (ціннісно-смысловий аспект)	Емоційно-вольова регуляція процесу і результати прояву компетентності	
1. Компетентності, що відносяться до самої людини як особистості, суб'єкта виробничої діяльності						
1.1. Знання та дотримання норм здорового способу життя	O <sub>111</sub>	O <sub>112</sub>	O <sub>113</sub>	O <sub>114</sub>	O <sub>115</sub>	O <sub>11</sub>
1.2. Ціннісно-смыслова орієнтація у світі (цінності життя, культури, науки, історії України)	O <sub>121</sub>	O <sub>122</sub>	O <sub>123</sub>	O <sub>124</sub>	O <sub>125</sub>	O <sub>12</sub>
1.3. Інтеграція знань: структурування знань, розширення та застосування накопичених знань	O <sub>131</sub>	O <sub>132</sub>	O <sub>133</sub>	O <sub>134</sub>	O <sub>135</sub>	O <sub>13</sub>
1.4. Громадянськості: знання та дотримання прав і обов'язків громадянина України	O <sub>141</sub>	O <sub>142</sub>	O <sub>143</sub>	O <sub>144</sub>	O <sub>145</sub>	O <sub>14</sub>
1.5. Саморозвитку та вдосконалення: смисл життя, професійний розвиток, мовний розвиток, оволодіння культурою української мови, володіння іноземною мовою	O <sub>151</sub>	O <sub>152</sub>	O <sub>153</sub>	O <sub>154</sub>	O <sub>155</sub>	O <sub>15</sub>
Оцінка компетентностей 1						O <sub>1</sub>
2. Компетентності, що відносяться до соціальної взаємодії фахівця та соціальної сфери						
2.1. Соціальна взаємодія із суспільством, сім'єю, колективом; конфлікти та їх гасіння; соціальна мобільність	O <sub>211</sub>	O <sub>212</sub>	O <sub>213</sub>	O <sub>214</sub>	O <sub>215</sub>	O <sub>21</sub>
2.2. Спілкування: усне та письмове, діалог, створення та сприйняття тексту; діловодство; комунікативні здібності	O <sub>221</sub>	O <sub>222</sub>	O <sub>223</sub>	O <sub>224</sub>	O <sub>225</sub>	O <sub>22</sub>
Оцінка компетентностей 2						O <sub>2</sub>
3. Компетентності, що відносяться до професійної діяльності фахівця						
3.1. Пізнавальна діяльність: постановка та вирішення пізнавальних завдань; створення та вирішення проблемних ситуацій; продуктивне пізнання	O <sub>311</sub>	O <sub>312</sub>	O <sub>313</sub>	O <sub>314</sub>	O <sub>315</sub>	O <sub>31</sub>
3.2. Знання нормативних документів високотехнологічних виробничих процесів	O <sub>321</sub>	O <sub>322</sub>	O <sub>323</sub>	O <sub>324</sub>	O <sub>325</sub>	O <sub>32</sub>
3.3. Уміння організувати виконання підлеглими вимог сучасних високотехнологічних виробничих процесів	O <sub>331</sub>	O <sub>332</sub>	O <sub>333</sub>	O <sub>334</sub>	O <sub>335</sub>	O <sub>33</sub>
3.4. Знання устрою устаткування сучасних високотехнологічних виробничих процесів	O <sub>341</sub>	O <sub>342</sub>	O <sub>343</sub>	O <sub>344</sub>	O <sub>345</sub>	O <sub>34</sub>
Оцінка компетентностей 3						O <sub>3</sub>
Інтегральна оцінка компетентності						O <sub>К</sub>

Якщо враховувати різну вагу характеристик відповідних компетентностей фахівця, то чисельне значення  $i$ -ї оцінки у співвідношенні (1) буде визначатися сумою:

$$O_1 = \sum_{j=1}^5 \beta_{1j} \cdot O_{1j}; \quad O_2 = \sum_{j=1}^2 \beta_{2j} \cdot O_{2j}; \quad O_3 = \sum_{j=1}^7 \beta_{3j} \cdot O_{3j}, \quad (2)$$

де  $O_{1j}$ ,  $O_{2j}$ ,  $O_{3j}$ ,  $\beta_{1j}$ ,  $\beta_{2j}$ ,  $\beta_{3j}$  – оцінки складових компетентностей у кожній групі компетентностей і вагові коефіцієнти цих оцінок.

Сума вагових коефіцієнтів:

$$\sum_{j=1}^5 \beta_{1j} = \sum_{j=1}^2 \beta_{2j} = \sum_{j=1}^7 \beta_{3j} = 1. \quad (3)$$

Компетентність фахівця сучасних високотехнологічних виробничих процесів проявляється у процесі його діяльності, в поведінці у сфері соціального та суспільного життя. Тому рівень компетентності можна діагностувати з певною об'єктивністю (достовірністю) тільки після деякого періоду його професійної діяльності на конкретній посаді. До діагностики компетентності фахівця можуть залучатися експерти, у ролі яких повинні бути посадові особи, що обіймають вищі службові посади і мають більш високий рівень компетентності порівняно з оцінюваним фахівцем.

Для оцінювання рівня компетентності запропоновано використовувати системи комп'ютерного тестового контролю, отже, узагальнену модель оцінювання рівня компетентності можна представити у вигляді сукупності моделей [2]:

$$M_{OPK} = \langle M_{\Pi}, M_{CTя}, M_{CTв}, M_C \rangle, \quad (4)$$

де  $M_{\Pi}$  – модель компетенцій посади;  $M_{CTя}$  – модель системи тестування;  $M_{CTв}$  – модель системи тестів;  $M_C$  – модель співробітника.

Для опису вимог до кандидата на посаду, а також до співробітника, який обіймає цю посаду, в сучасній практиці використовують методики побудови профілю посади, який містить інформацію про компетенції, необхідні співробітникам для роботи [3]. Вимоги посади – завдання і стандарти їх виконання, прийняті в організації або галузі, відбиваються в моделі компетенцій.

Модель компетенцій можна розглядати як інструмент, що використовується на усіх етапах роботи з персоналом.

Під час підбору персоналу – модель компетенцій є критерієм відбору необхідних співробітників, що значно економить час і засоби, які витрачаються на процес підбору.

Розглянемо модель компетенцій співробітника для автоматизованого оцінювання рівня компетентності.

Модель компетенцій посади можна представити у вигляді:

$$M_{\Pi} = \{K_1, K_2, \dots, K_{k_n}\}, \quad (5)$$

де  $K_i$  – компетенція, необхідна для успішної роботи на цій посаді;

$k_n$  – кількість компетенцій,  $k_n > 0$ .

За своєю суттю кожна з компетенцій – це або професійно необхідна якість, або знання, вміння або навички, необхідні для роботи, отже, деталізуючи (4), отримаємо:

$$M_{\Pi} = \{ПВЯ, ЗУН\}, \quad (6)$$

де  $ПВЯ$  – безліч професійно важливих якостей;  $ЗУН$  – безліч знань, умінь і навичок.

Враховуючи висновки, викладені в [5], доцільно виконати розбиття (6) на складові і представити модель у вигляді:

$$M_{\Pi} = \{ПВЯ, М, ЗУ, Н\}, \quad (7)$$

де  $М$  – безліч мотивів діяльності для посади співробітника;  $ЗУ$  – безліч знань і умінь;  $Н$  – безліч навичок, необхідних співробітникам.

Оцінювання якостей співробітника, його знань і вмінь, а також рівня внутрішньої мотивації на працю може бути формалізоване і реалізоване з використанням засобів вирішення функціональних завдань – засобів комп'ютерного тестування.

Для оцінювання рівня компетенції в АС ОРК необхідно реалізувати три різні системи тестування (6).

$$M_{CTя} = \{ M_{S_{3V}}, M_{S_{ПВЯ}}, M_{S_M} \}, \quad (8)$$

де  $M_{S_{3V}}$  – модель системи тестування знань і умінь;

$M_{S_{ПВЯ}}$  – модель системи тестування ПВЯ;

$M_{S_M}$  – модель системи тестування внутрішньої мотивації співробітника на роботу.

Враховуючи, що в загальному вигляді модель системи тестування [5] можна представити у вигляді:

$$M_{CTя_{общ}} = \langle Ц, З, Ш, X, A \rangle, \quad (9)$$

де  $Ц$  – цілі тестування;

$З$  – ЗРФЗ тестування;

$Ш$  – шкала оцінок;

$X$  – варіанти відповідей;

$A$  – критерії оцінювання відповідей.

Тоді модель системи тестування знань і умінь матиме вигляд:

$$M_{S_{3V}} = \langle Ц_{3V}, З_{3V}, Ш_{3V}, \{X_1, X_2, \dots, X_L\}, \{A_1, A_2\} \rangle. \quad (10)$$

Для системи  $S_{ПВК}$  (і системи  $S_M$ , оскільки мотиви є складовою ПВЯ) у зв'язку з неможливістю ділення безлічі відповідей (15) на правильні і неправильні перспективним напрямом є використання систем тестування з використанням елементів нечіткої логіки [5]. В цьому випадку варіанти відповідей задаються лінгвістичними змінними такого вигляду:

$$A_{ПВЯ} = A_M = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}, \quad (11)$$

де  $A_1$  – відповідь, яка вказує на те, що це ПВЯ (або мотив) у співробітника не проявляється;

$A_2$  – проявляється недостатньо;

$A_3$  – проявляється з середньою активністю;

$A_4$  – проявляється добре;

$A_5$  – проявляється відмінно.

Моделі виглядатимуть таким чином:

$$M_{S_{ПВК}} = \langle Ц_{ПВЯ}, З_{ПВЯ}, Ш_{ПВЯ}, \{x_1, x_2, \dots, x_{ПВЯr}\}, \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} \rangle \quad (12)$$

$$\text{та } M_{S_M} = \langle Ц_M, З_M, Ш_M, \{x_1, x_2, \dots, x_{Mr}\}, \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} \rangle. \quad (13)$$

У результаті, деталізуючи (9), отримаємо модель системи тестування для оцінювання рівня компетентності співробітника:

$$M_{CTя} = \{ M_{S_{3V}}, M_{S_{ПВК}}, M_{S_M} \} = \left\{ \begin{array}{l} \langle Ц_{3V}, З_{3V}, Ш_{3V}, \{X_1, X_2, \dots, X_L\}, \{A_1, A_2\} \rangle, \\ \langle Ц_{ПВЯ}, З_{ПВЯ}, Ш_{ПВЯ}, \{x_1, x_2, \dots, x_{ПВЯr}\}, \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} \rangle, \\ \langle Ц_M, З_M, Ш_M, \{x_1, x_2, \dots, x_{Mr}\}, \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} \rangle \end{array} \right\}, \quad (14)$$

де позначення відповідно до прийнятих у цій статті.



Моделювання процесу оцінювання неможливе без побудови моделі співробітника, причому цей процес необхідно розглядати з погляду взаємодії співробітника з АС ОРК, оскільки на результати оцінювання впливають як об'єктивні чинники, так і суб'єктивні, наприклад, готовність співробітника до роботи з АС ОРК.

Модель співробітника може бути представлена в такому вигляді:

$$M_C = \langle K_C, R, \Gamma_C, B_C \rangle, \quad (15)$$

де  $K_C$  – безліч компетенцій співробітника, таке, що може відрізнятися від безлічі компетенцій, необхідних для успішної роботи на цій посаді;

$R$  – безліч оцінок рівнів вираженості компетенцій, необхідних для успішної роботи на цій посаді;

$\Gamma_C$  – рівень готовності співробітника до роботи з АС ОРК, у тому числі відношення співробітника до АС ОРК (сприйняття або неприйняття);

$B_C$  – виробничі показники роботи співробітника, навички роботи, що характеризують його на посаді.

Усі складові (15), у свою чергу, є складними і складаються з простіших. Так у  $K_C$  можна виділити:

$$K_C = \{M_n, L_g, U_m, T_v, P_sx\}, \quad (16)$$

де  $M_n$  – моторні навички;  $L_g$  – лінгвістичні навички;  $U_m$  – розумові здібності (інтелект, тип пам'яті тощо);  $T_v$  – творчі здібності;  $P_sx$  – психологічні властивості (увага, стійкість до стресів та ін.).

Оцінками  $R$  рівнів вираженості компетенцій є множина:

$$R = \{R_K, R_i, R_{ij}\}, \quad (17)$$

де  $R_K$  – підсумковий (шуканий) інтегральний рівень компетентності співробітника;  $R_i$  – рівень вираженості  $i$ -ої групи компетенцій;  $R_{ij}$  – рівень вираженості  $j$ -ої компетенції у співробітника з  $i$ -ої групи.

Враховуючи декомпозицію показника  $R$  зі складових (17), для наших цілей оцінками рівнів вираженості компетенцій буде множина:

$$R = \{R_K, R_{ПВЯ}, R_M, R_{ЗУ}, R_H, R_{ПВЯ}^i, R_M^j, R_{ЗУ}^k, R_H^l\}, \quad (18)$$

де  $R_{ПВЯ}^i$  – рівень  $i$ -го ПВЯ у співробітника;

$R_M^j$  – рівень  $j$ -го мотиву у співробітника;

$R_{ЗУ}^k$  – рівень  $k$ -го знання або уміння співробітника;

$R_H^l$  – рівень  $l$ -го навички у співробітника.

Підставляючи (17) і (18) в (15) отримуємо модель співробітника для автоматизованого оцінювання рівня його компетентності:

$$M_C = \langle K_C, R, \Gamma_C, B_C \rangle = \left\langle \begin{array}{c} \{M_n, L_g, U_m, T_v, P_sx\}, \\ \{R_K, R_{ПВЯ}, R_M, R_{ЗУ}, R_H, R_{ПВЯ}^i, R_M^j, R_{ЗУ}^k, R_H^l\} \\ \Gamma_C, \Pi_C \end{array} \right\rangle, \quad (19)$$

де позначення відповідно до прийнятих у цій статті.

Отримавши окремі моделі для оцінювання рівня компетентності співробітника завдяки підстановці їх у (4), отримуємо розгорнуту модель:

$$\begin{aligned}
 M_{OPK} &= \langle M_D, M_{CTЯ}, M_{CT6}, M_C \rangle = \\
 &= \langle \{ЗУ, ПВЯ, М, Н\}, \{M_{T_{ПВЯ}}, M_{T_{ЗУ}}, M_{T_M}\}, \{M_{S_{ЗУ}}, M_{S_{ПВЯ}}, M_{S_M}\}, \{K_C, R, \Gamma_C, B_C\} \rangle = \\
 &= \left\langle \left\{ \begin{aligned} &\{ЗУ, ПВЯ, М, Н\}, \\ &\left\langle B_{ЗУ}, Ч_{ЗУ}, Д_{ЗУ}, O_{ЗУ}, \{TЗ_{лог}, TЗ_{одн}, TЗ_{мнж}, TЗ_{кон}, TЗ_{стн}, TЗ_{прз}\} \right\rangle \\ &\left\langle B_{ПВК}, Ч_{ПВК}, Д_{ПВК}, O_{ПВК}, \{TЗ_{лог}, TЗ_{одн}, TЗ_{мнж}\} \right\rangle \\ &\left\langle B_M, Ч_M, Д_M, O_M, \{TЗ_{лог}, TЗ_{одн}, TЗ_{мнж}\} \right\rangle \end{aligned} \right\}, \right. \\
 &= \left\langle \left\{ \begin{aligned} &\langle Ц_{ЗУ}, З_{ЗУ}, Ш_{ЗУ}, \{X_1, X_2, \dots, X_L\}, \{A_1, A_2\} \rangle, \\ &\langle Ц_{ПВЯ}, З_{ПВЯ}, Ш_{ПВЯ}, \{x_1, x_2, \dots, x_{ПВЯr}\}, \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} \rangle, \\ &\langle Ц_M, З_M, Ш_M, \{x_1, x_2, \dots, x_{Mr}\}, \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} \rangle \end{aligned} \right\}, \right. \\
 &\quad \left. \left\langle \begin{aligned} &\{Mн, Лг, Ум, Тв, Псх\}, \\ &\{R_K, R_{ПВЯ}, R_M, R_{ЗУ}, R_H, R_{ПВК}^i, R_M^j, R_{ЗУ}^k, R_H^l\} \end{aligned} \right\rangle \right. \\
 &\quad \left. \Gamma_C, B_C \right\rangle, \quad (20)
 \end{aligned}$$

де позначення відповідно до прийнятих у цій статті.

**Висновки.** Ця модель описує всі складові, необхідні для розроблення автоматизованої системи, яка дозволить реалізувати технологію оцінювання рівня компетентності співробітника.

Розроблення профілю посади з використанням запропонованої моделі  $M_0$  повинна проводитися на підставі вимог, що висуваються керівниками, стандартів освіти й відповідних довідників з урахуванням особливостей професійної діяльності фахівця і соціальної політики підприємства.

#### Список використаних джерел

1. Зимняя И. А. Ключевые компетенции – новая парадигма результатов образования / И. А. Зимняя // Высшее образование сегодня. – 2003. – № 5. – С. 34–42.
2. Уидетт С. Руководство по компетенциям : пер. с англ. / С. Уидетт, С. Холлифорд. – М. : ГИППО, 2004. – 228 с.
3. Бояцис Р. Компетентный менеджер. Модель эффективной работы : пер. с англ. / Р. Бояцис. – М. : ГИППО, 2008. – 352 с.
4. Миллс Р. Компетенции (карманный справочник) / Р. Миллс. – М. : ГИППО, 2004. – 128 с.
5. Толочко В. М. Требования к персоналу фармацевтических организаций: квалификация или компетенции? / В. М. Толочко, Л. В. Галий // Провизор. – 2009. – № 3. – С. 20–22.
6. Спенсер С. Компетенции на работе : пер. с англ. / С. Спенсер, Л. Спенсер. – М. : ГИППО, 2005. – 384 с.
7. Arlene S. Hirsh. 101 Proven Time-Saving Checkliststo Organizeand PlanYour Career Search, JISTWorks, 2005. – 184 p.
8. Армстронг М. Практика управления человеческими ресурсами / М. Армстронг ; пер. с англ. под ред. С. К. Мордовина. – 8-е изд. – СПб. : Питер, 2008. – 832 с.

**Д.В. Маргасов**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**В.І. Литвин**, здобувач

Навчальний центр з енергоаудиту та енергоменеджменту Асоціації енергоаудиторів, м. Київ, Україна

### **АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ТА КОРЕКЦІЯ РІВНЯ УЗГОДЖЕНОСТІ ПІД ЧАС РАНЖИРУВАННЯ ФАКТОРІВ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

**Д.В. Маргасов**, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**В.И. Литвин**, соискатель

Учебный центр по энергоаудиту и энергоменеджменту Ассоциации энергоаудиторов, г. Киев, Украина

### **АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И КОРЕКЦИЯ УРОВНЯ СОГЛАСОВАННОСТИ ПРИ РАНЖИРОВАНИИ ФАКТОРОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

**Dmytro Marhasov**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**Vadym Lytvyn**, candidate

Training Center of Energy Audit and Energy Management Association of energy auditors, Kyiv, Ukraine

### **THE ALGORITHMIZATION AND CORRECTION OF THE LEVEL OF CONSISTENCY DURING THE PROCESS OF RANKING FACTORS IN THE INFORMATIONAL SYSTEM OF ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS**

*Створено алгоритми корекції у процесі підвищення рівня узгодженості під час ранжирування факторів на основі їх індикаторів в інформаційній системі аналізу енергоефективності. Це допоможе для подальшого створення програмного модуля ранжирування факторів енергоефективності в інформаційній системі.*

**Ключові слова:** інформаційні технології, інформаційна система, енергоефективність, ранжирування факторів, алгоритм.

*Созданы алгоритмы коррекции в процессе повышения уровня согласованности при ранжировании факторов на основе их индикаторов в информационной системе анализа энергоэффективности. Это поможет для дальнейшего создания программного модуля ранжирования факторов энергоэффективности в информационной системе.*

**Ключевые слова:** информационные технологии, информационная система, энергоэффективность, ранжирование факторов, алгоритм.

*The correction algorithms were created in the process of improving consistency level in ranking factors on the basis of the indicators in the information system analysis of energy efficiency. This will help to further create software module efficiency ranking factors in the information system.*

**Key words:** information technology, information systems, energy efficiency, ranking factor, algorithm.

**Постановка проблеми.** Актуальність розвитку енергоощадних проєктів в Україні висунули питання їх імплементації у сучасні інформаційні технології, створення моніторингових інформаційних систем для онлайн-досліджень та прийняття рішень у ініціюванні проєкту, враховуючи вплив на енергоефективність багатьох факторів та індикаторів.

Так, у програмі енергоощадності в закладах охорони здоров'я м. Чернігова на 2013–2017 роки одним з основних напрямків вирішення завдань скорочення енергоспоживання закладами охорони здоров'я міста є: програмне планування та моніторинг заходів з енергозбереження за допомогою впровадження системи енергетичного моніторингу [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізуючи дослідження з інформаційних систем аналізу енергоощадності, слід зазначити, що в Україні ці питання висвітлюються у працях А.В. Праховника, В.В. Прокопенко, О.І. Соловей [2], О.Г. Ратушняк [3] та ін. Питання інформаційних технологій в Україні розглянуто у працях І.В. Сергієнко [4], В.В. Литвинова [5], В.В. Казимира [6] та інших. За кордоном питання моніторингу енергоощадності досліджували В.П. Вавилов [7], Ю.А. Табунщиков [8] та ін.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Невирішеною є проблема узгодження багатьох факторів та їх індикаторів під час ранжирування в інформаційній системі аналізу енергоефективності.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є створення алгоритмів корекції матриць попарних порівнянь під час ранжирування факторів в інформаційній системі аналізу енергоефективності.

**Виклад основного матеріалу.** Використання інформаційної системи аналізу енергоефективності значною мірою залежить від багатьох зовнішніх чинників, які пов'язані як з об'єктивними причинами, наприклад, кваліфікацією та іншими характеристиками експертів, ОНР тощо, так і суб'єктивними чинниками – технічними параметрами об'єктів, зміною нормативних документів тощо. Тому паралельно з процесом визначення параметрів енергоефективності та напрацюванню рекомендацій щодо прийняття рішень ставиться завдання оцінювання якості експертних оцінок та ранжирування внутрішніх чинників, на основі яких оцінюється енергоефективність. Для цього на основі методу аналізу ієрархій розробляється його модифікація, яка дозволяє проводити ранжирування факторів аналізу енергоефективності через підвищення рівня узгодженості експертних оцінок за рахунок корекції попарних порівнянь.

Процедура корекції попарних порівнянь з метою досягнення прийняттого рівня узгодженості може проводитись в автоматичному та ітераційному режимах, а також за допомогою повторного експертного опитування.

Автоматична корекція має певні обмеження, пов'язані з ситуаціями, коли має місце низький рівень узгодженості й аналіз даних не дає корисної інформації [9]. Процес автоматичного корегування проводиться на основі порівняння функціоналу узгодженості  $\Phi$ , розрахованого на основі матриці косинусів. Алгоритм автоматичної корекції наведено на рис. 1.

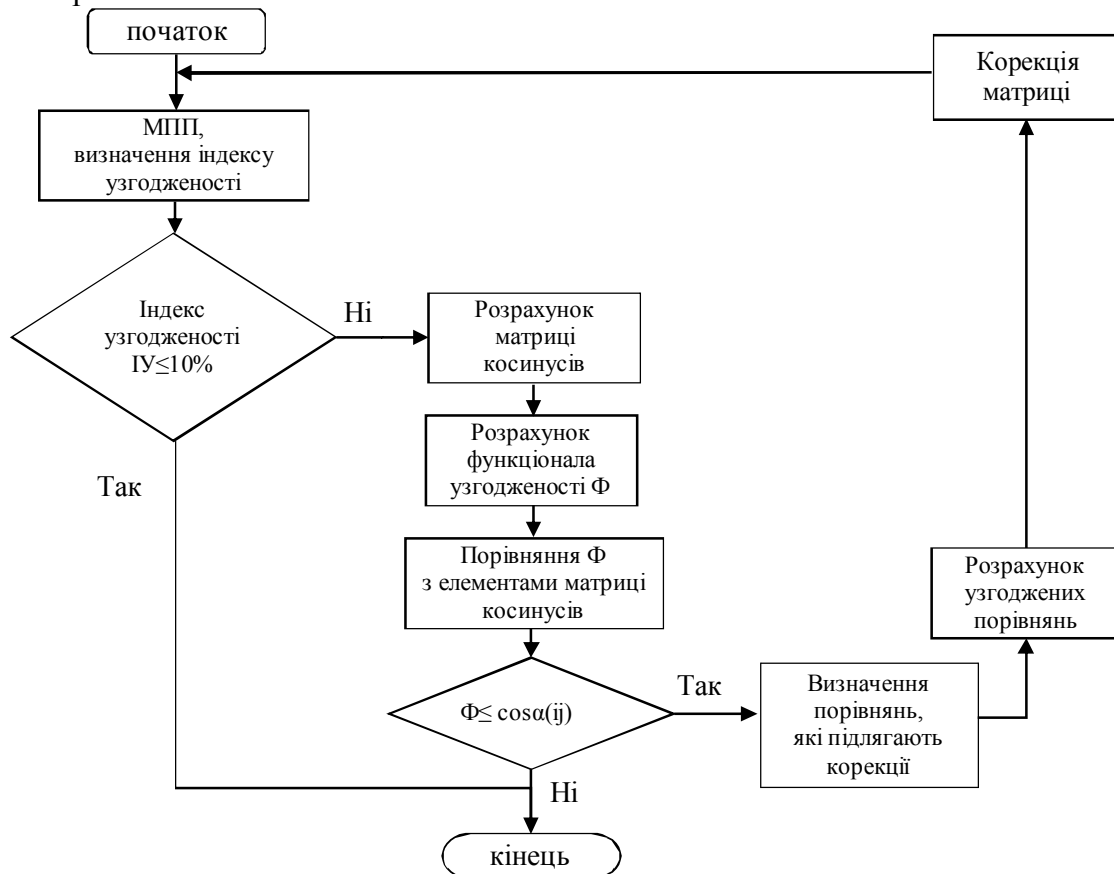


Рис. 1. Загальний погляд на процес прийняття рішень для енергоощадного проекту

Ітераційні процедури корекції доцільно використовувати за умов, коли має місце достатня узгодженість попарних порівнянь у більшості позицій матриці попарних порівнянь, є корисна інформація про ваги показників. При цьому перевагою ітераційного методу є те, що процес корекції пов'язаний з однією із оцінок – переважно з елементом порівняння, який має найнижчий рівень узгодженості – і всі інші скореговані оцінки ґрунтуються на скорегованому первинному елементі [10].

Алгоритм ітераційного процесу корекції матриці попарних порівнянь наведено на рис. 2.

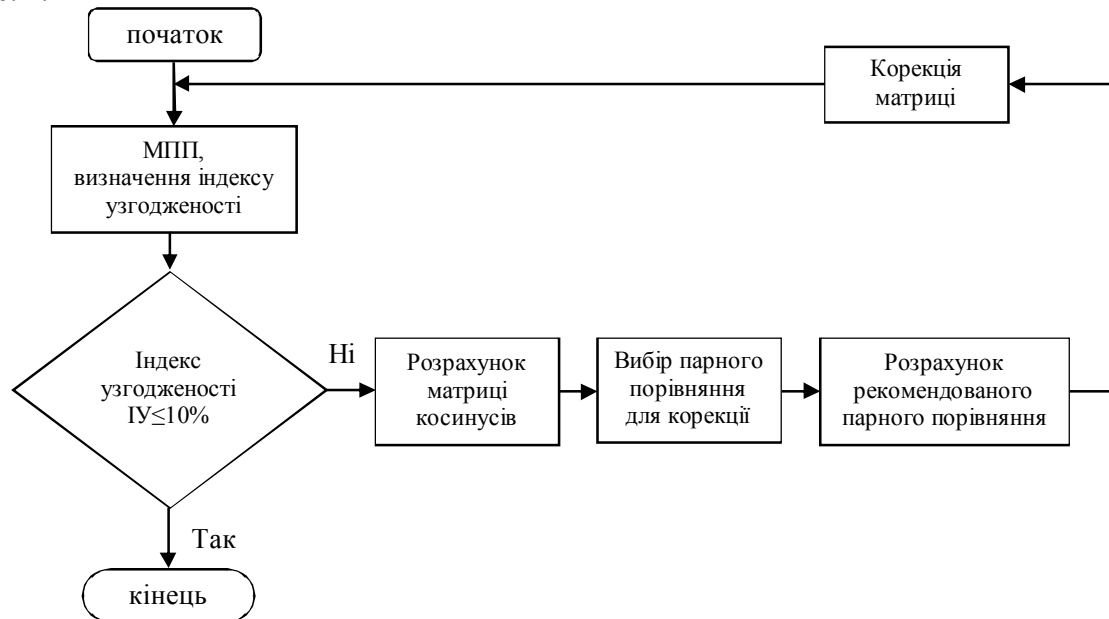


Рис. 2. Алгоритм ітераційного процесу корекції матриці попарних порівнянь

Умова автоматичного корегування матриці попарних порівнянь відповідає ситуації, коли результат ранжирування показників не змінюється під час приведення індексу узгодженості до прийняттого значення.

Умова ітераційного корегування відповідає ситуації, коли вхідні дані про порівняння альтернатив достатньо узгоджені, але існують порівняльні судження, які значно відрізняються від інших як за величиною, так і за достовірністю.

В усіх інших випадках за умов значної неузгодженості матриці попарних порівнянь та за наявності суджень, які суперечать одне одному, доцільно проводити повторне експертне оцінювання.

Рівень достовірності попарних суджень та їх порівняння по достовірності в роботі пропонується визначати на основі статистичного аналізу чисельних значень попарних порівнянь матриці, де для вибірки із  $n(n-1)$  оцінок попарних порівнянь (без діагональних елементів) визначаються середнє значення оцінок та середньоквадратичне відхилення (СКВ)  $\sigma$  як міра розкиду узгодженості порівнянь.

У роботі [11] на основі аналізу СКВ від індексу узгодженості для матриць різної розмірності встановлено, що ймовірність раціонального корегування матриці попарних порівнянь тим більша, чим більший розкид узгодженостей суджень, оскільки в цих випадках можна виділити максимально пов'язані оцінки експертів.

За [11] зона раціонального корегування відповідає розподілу Парето. В матриці попарних порівнянь СКВ може набувати значення від 0 до 0,5. Згідно з правилом Парето пропонується визначати нижню межу СКВ у межах 20 % від максимального значення, тобто на рівні  $0,5 \cdot 20\% = 0,1$ . Таким чином, матриці попарних порівнянь, для яких СВК оцінок узгодженості окремих суджень перевищують 0,1 ( $\sigma > 0,1$ ), можуть бути скорего-

говані представленими методами. Алгоритм вибору методу корегування матриць представлено на рис. 3.

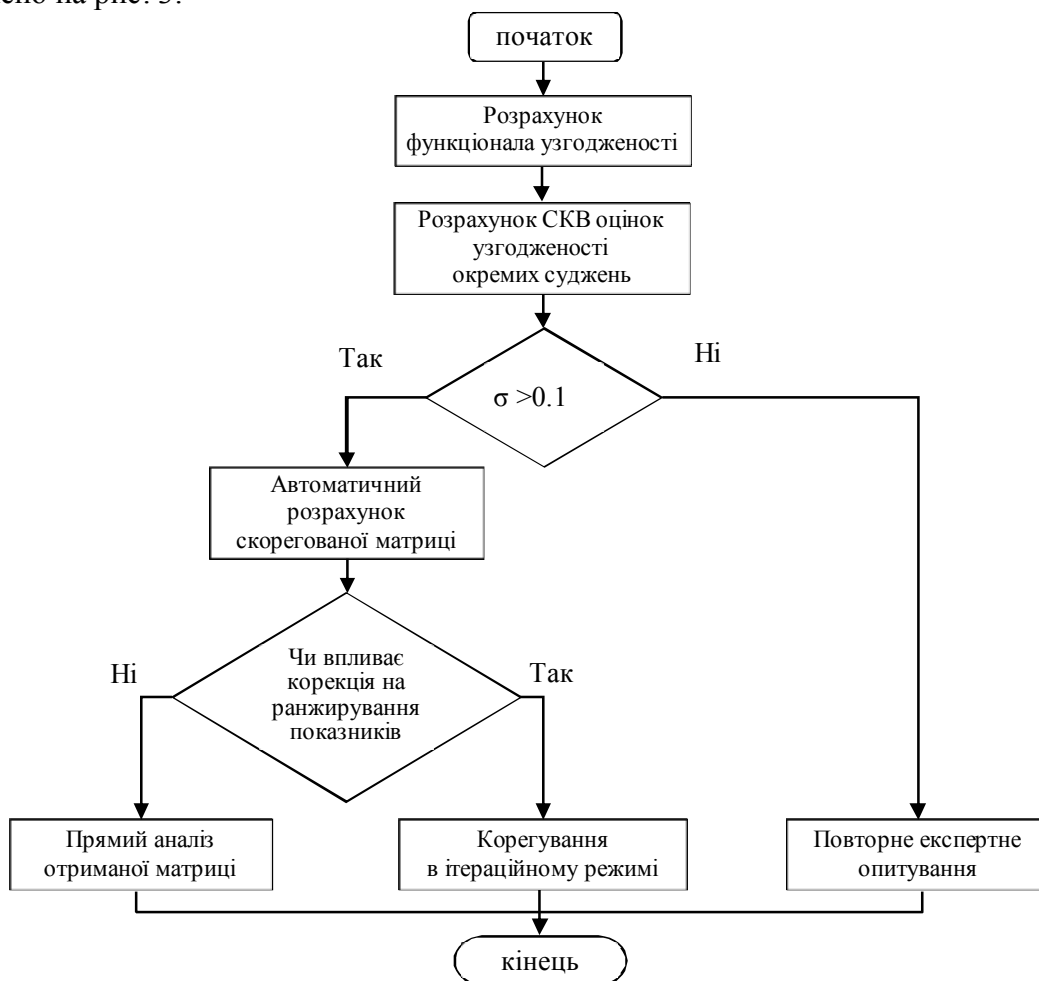


Рис. 3. Алгоритм вибору методу корегування у процесі підвищення ступеня узгодженості парних порівнянь

На етапі підвищення рівня узгодженості важливим є вибір методу корегування парних порівнянь. Процес адаптивного підбору дозволяє покроково підвищити узгодженість матриці парних порівнянь, визначаючи найбільш оптимальний метод корегування. Схематично адаптивну процедуру корегування парних порівнянь з метою підвищення рівня узгодженості представлено на рис. 4.

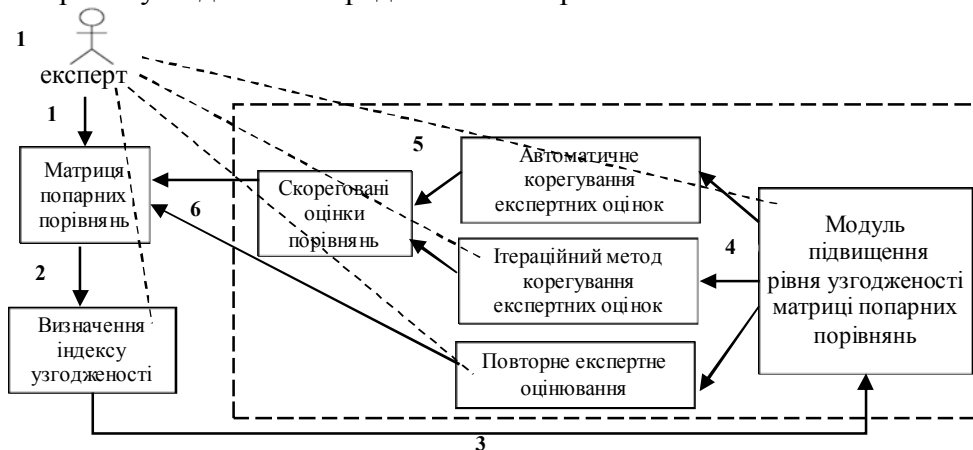


Рис. 4. Схема адаптивного підбору чисельних оцінок у матриці парних порівнянь (пунктиром позначена участь експерта в процесі оброблення матриці парних порівнянь)

Реалізація пропонованого підходу включає в себе такі послідовні кроки:

- 1) формування матриці попарних порівнянь;
- 2) визначення індексу узгодженості та необхідності його корегування;
- 3) за необхідності – передача значень експертних оцінок та розрахованого індексу на вхід модуля підвищення рівня узгодженості;
- 4) вибір алгоритму підбору коректних порівнянь;
- 5) корекція експертних оцінок;
- 6) перерозрахунок ваг факторів та визначення задовільного індексу узгодженості.

**Висновки.** Створено алгоритми корекції для підвищення рівня узгодженості під час ранжирування факторів в інформаційній системі аналізу енергоефективності: алгоритм ітераційного процесу корекції матриці попарних порівнянь, алгоритм вибору методу корегування у процесі підвищення ступеня узгодженості попарних порівнянь. Процес адаптивного підбору дозволяє покроково підвищити узгодженість матриці попарних порівнянь, визначаючи найбільш оптимальний метод корегування. У подальшому буде розроблятися модуль ранжирування факторів, що дасть змогу визначити згідно з мотивованими та узгодженими судженнями експертів групи факторів за їх монотонною силою впливу на формування визначеного рівня енергоефективності. Модуль ранжирування факторів структурно є елементом інформаційної системи аналізу енергоефективності в разі підтримки управлінських рішень щодо проведення енергоефективних заходів.

#### Список використаних джерел

1. Програма енергозбереження в закладах охорони здоров'я м. Чернігова на 2013–2017 роки : Рішення міської ради 27 квітня 2012 року (20-а сесія 6 скликання).
2. *Енергетичний менеджмент* / [А. В. Праховник, О. І. Соловей, В. В. Прокопенко та ін.]. – К. : ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. – 472 с.
3. *Ратушняк Г. С.* Управління проектами енергозбереження шляхом термомодернізації будівель : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.
4. *Сергієнко І. В.* Наукові ідеї В.М. Глушкова та розвиток актуальних напрямів інформатики / І. В. Сергієнко. – К. : Наук. думка, 2013. – 288 с.
5. *Литвинов В. В.* Методы построения имитационных систем / В. В. Литвинов, Т. П. Марьянович. – К. : Наукова думка, 1991. – 120 с.
6. *Казимир В. В.* Модельно-орієнтоване управління інтелектуальними виробничими системами : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.13.06 / В. В. Казимир ; НАН України ; Інститут проблем математичних машин і систем. – К., 2006. – 301 с.
7. *Вавилов В. П.* Инфракрасная термография и тепловой контроль / В. П. Вавилов. – М. : Спектр, 2009. – 544 с.
8. *Табунщиков Ю. А.* Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
9. *Сушков Ю. А.* Многокритериальность в многорежимных системах / Ю. А. Сушков // Архитектура и программное обеспечение цифровых систем. – М. : МГУ, 1984. – С. 71–77 ; *Кузнецов В. Н.* Согласование и оптимизация в иерархических системах с активными элементами / В. Н. Кузнецов. – М. : Институт проблем управления, 1996. – 132 с.
10. *Трахтенгерц Э. А.* Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений / Э. А. Трахтенгерц. – М. : Синтег, 2001. – 256 с.
11. *Ломакин В. В.* Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов / В. В. Ломакин, М. В. Лифиренко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. – С. 1798–1803.

УДК 004.942:631.15

**И.В. Михайлюк**, аспирант

**В.В. Литвинов**, д-р техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

## **СИСТЕМА СБОРА ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

**I.V. Михайлюк**, аспирант

**V.V. Litvinov**, д-р техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

## **СИСТЕМА ЗБОРУ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИМ ПІДПРИЄМСТВОМ**

**Ivan Mikhaylyuk**, PhD student

**Vitaliy Litvinov**, Doctor of Technical Sciences

Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

### **SYSTEM OF COLLECTING OF PRIMARY DATA FOR COMPUTER-AIDED SYSTEM OF AGRICULTURAL ENTERPRISE**

*Показана необходимость создания системы сбора первичной информации в составе системы с адаптивным управлением. Сформулированы цели и задачи системы сбора первичной информации. Создан список источников информации системы сбора. Описанная модель функционирования и структура системы сбора информации автоматизированной системы управления сельскохозяйственным предприятием. Указан перечень технических средств и технологий сбора информации.*

**Ключевые слова:** система сбора информации, системы управления сельскохозяйственным предприятием, источник информации, датчик, GPS, Wi-Fi, GSM.

*Показано необхідність створення системи збору первинної інформації у складі системи з адаптивним управлінням. Сформульовано цілі і завдання системи збору первинної інформації. Створено список джерел інформації системи збору. Описано модель функціонування та структура системи збору інформації автоматизованої системи управління сільськогосподарським підприємством. Вказано перелік технічних засобів та технологій збору інформації.*

**Ключові слова:** система збору інформації, система управління сільськогосподарським підприємством, джерело інформації, датчик, GPS, Wi-Fi, GSM.

*Shows the necessity creating a system for the collection of primary data in the system with adaptive control. Set out the aims and objectives of the system of collecting primary information. Create a list of sources of information for collection systems. The model of the functioning and structure described for the system of collecting primary data for automatic control system of agricultural enterprise. The specified list of hardware and technology collecting information.*

**Key words:** information collection system, the control system of agricultural enterprise, the source of information, sensor, GPS, Wi-Fi, GSM.

**Введение.** Для решения задачи управления сложным объектом применима теория автоматического управления. В общем случае для описания управления объектом можно использовать: принцип разомкнутого управления, принцип компенсации возмущений – управление по возмущению, принцип обратной связи – управление по отклонению. Как показано в [1], для адаптивной системы управления агропредприятием применим принцип управления по отклонению. Кроме того, в системе автоматизированного управления агропредприятием для выработки управляющих воздействий необходимо предусмотреть средства сбора первичной информации.

**Целью статьи** является обоснование значимости системы сбора первичной информации (ССПИ) в системах управления агропредприятием, формулировка целей и задач ССПИ, выделение источников данных, построение архитектуры информационной системы сбора первичной информации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Архитектура и особенности системы управления агропредприятием описаны в [1; 2]. Особенности и принципы систем точного земледелия описаны в источниках [3–6]. В частности отмечено, что в существующих системах точного земледелия необходимо реализовать реактивный уровень управления (автоматизировать основной его контур): автоматическое получение первичной информации, немедленная выработка реакции и влияние этой реакции на объект управления.



Процесс управления сельскохозяйственными операциями можно разбить на несколько этапов (рис. 1). Первичным этапом выступает сбор информации и её предварительная обработка.

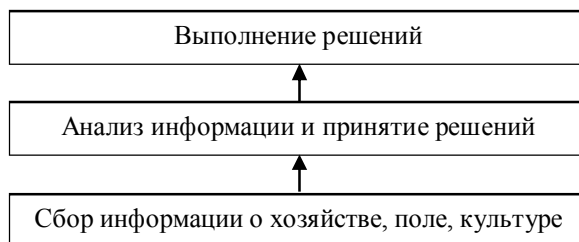


Рис. 1. Этапы управления сельскохозяйственными операциями

Обобщая информацию [1–6], можно сказать, что для эффективной реализации управления процессами растениеводства необходимо непрерывное получение информации о состоянии полей, посевах, ресурсного обеспечения. Таким образом, в составе автоматизированной системы управления (АСУ) агропредприятием должна быть система сбора первичной информации.

**Цели и задачи ССПИ.** Целью разработки ССПИ является повышение качества и увеличение скорости сбора первичной информации о состоянии объектов управления и процессах растениеводства, а также передача срочных донесений и распоряжений с центра управления исполнителям.

Сбор данных может производиться как в реальном времени, так и с накоплением данных (с отсрочкой передачи) путем использования промежуточного носителя информации.

Для достижения цели необходимо решить такие задачи:

- сбор и обработка первичной информации с датчиков и бортового компьютера тракторных агрегатов;
- сбор и первичная обработка донесений и распоряжений;
- сбор и первичная обработка информации с датчиков и систем стационарных объектов;
- сбор и первичная обработка информации с систем контроля доступа (СКД) и видеонаблюдения;
- сбор первичной информации персоналом вручную;
- сбор первичной информации с помощью специализированных автоматизированных пробников;
- сбор и обработка первичной информации с аппаратуры ДЗЗ, аэросъемки;
- сбор и первичная обработка информации о состоянии дорог;
- предоставление доступа к текущему состоянию объекта управления;
- доставка сообщений и распоряжений.

**Источники информации ССПИ.** Источниками информации ССПИ могут быть внешние системы или внутренние модули. На рис. 2 показаны возможные источники информации.

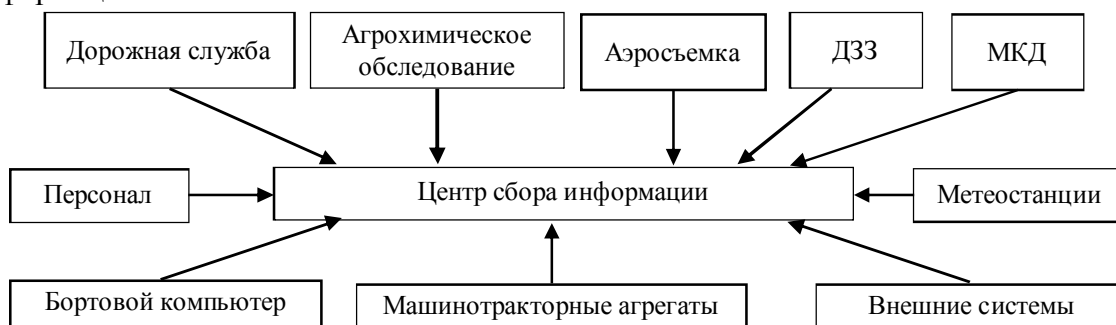


Рис. 2. Источники информации для ССПИ

Функциональный состав ССПИ определяют источники информации. Для приема данных с каждого источника необходимо разработать базу данных (БД), службу мониторинга, протоколы обмена информацией.

**Модель функционирования ССПИ.** Система сбора первичной информации в свой состав включает: набор сервисов (модулей), которые решают задачи сбора, первичной обработки и доступа к информации; БД для хранения информации; сервис уведомлений об обновлении данных для оповещения внешних модулей об изменении информации. На рис. 3 показана модель функционирования системы сбора первичной информации.

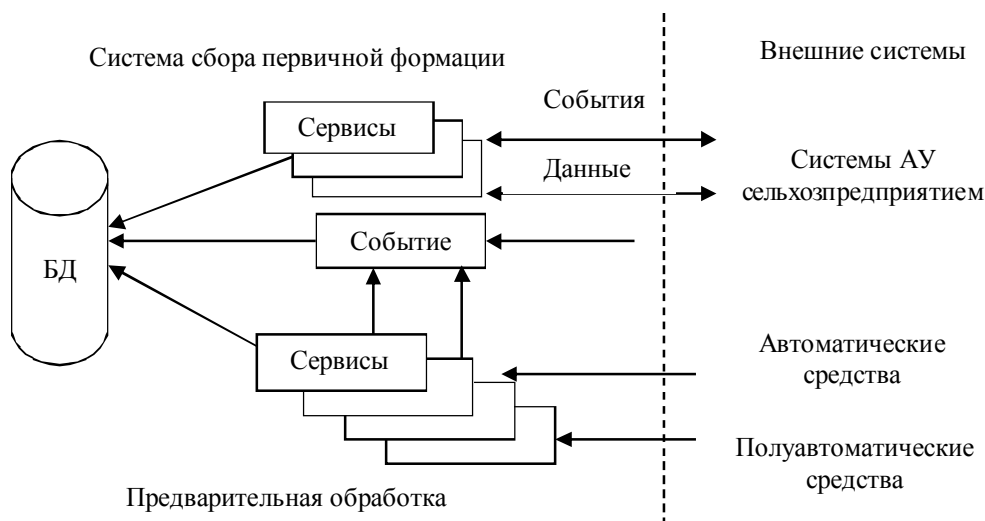


Рис. 3. Модель функционирования системы сбора первичной информации

Этапы работы системы:

- информация собранная автоматическими или полуавтоматическими средствами изначально формализуется, далее через каналы связи или промежуточные носители информации передается к сервисам ССПИ. Одновременно генерируется событие о поступлении данного типа информации;
- каждый сервис производит первичную обработку информации путем приведения к общему формату или проверки ошибок передачи;
- после выполнения второго пункта информация сохраняется в БД;
- сервис сообщений отправляет «подписанным» внешним системам (которые ожидают и могут обработать данный тип информации) сообщение о поступлении новой информации. Внешние системы могут как запросить данные, так и инициировать поступление новых данных.

**Структура и функционирование системы.** Подвижные и стационарные устройства, оснащенные датчиками с определенным интервалом времени, передают информацию на ССПИ. Для передачи данных в реальном времени используются технологии GSM/GPRS, Internet, 3G также радиосети Wi-Fi, ZigBee.

Агроном, лицо технологического контроля или работник лаборатории, используя переносное устройство типа планшета или смартфона, может внести определенные данные, заполнив форму. В случае, когда устройство ввода не может подключиться к сети (offline режим), результаты сохраняются в памяти устройства или на внешнем накопителе (USB flash или SD карта). При входе устройства в зону работы сети данные передаются на сервер или заносятся в систему через накопитель.

Ввод данных в систему производится в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах. Автоматический режим подразумевает поступление информации в систему от автоматических измерительных приборов (комплекс проведения агрохимического обследования почвы, метеорологическая станция, бортовой компьютер или

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

«трекер», СКД, системы видеонаблюдения и т. д.). Полуавтоматический режим подразумевает участие человека (диспетчера, агронома, механика) в измерениях и занесение данных в форму. Ручной режим ввода – это ввод данных системным администратором, который используется в процессе запуска и отладки системы.

Элементы структурной схемы ССПИ показаны на рис. 4.

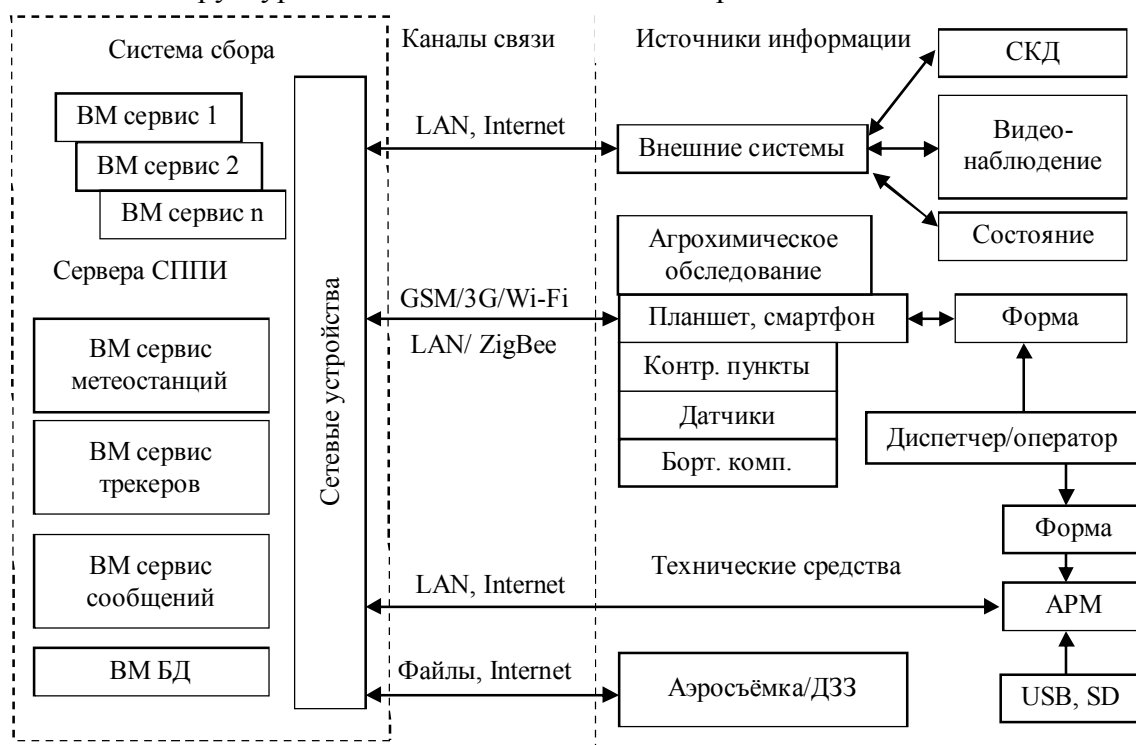


Рис. 4. Структурная схема ССПИ

Для функционирования системы необходимо разработать аппаратные и программные средства сбора информации, протоколы обмена данными для следующих сервисов:

1. Сервис ввода первичной информации диспетчером – автоматизированные рабочие места (АРМ) для ввода информации о событиях, передачи телефонных уведомлений.
2. Сервисы ввода первичной информации, которые используют переносные компьютеры (планшеты или смартфоны), о состоянии поля, посевах, техники.
3. Сервис для автоматизированного комплекса проведения агрохимического обследования почвы.
4. Сервис для сбора данных с метеорологических станций.
5. Сервисы слежения за подвижными объектами, для сбора информации о скорости, траектории движения, расхода топлива, состояния механизмов, а также передачи уведомлений.
6. Сервисы для стационарных и передвижных комплексов для измерения массы или объема, температуры, влажности урожая, состояния ресурсов.
7. Сервисы учета персонала.

Для создания сервисов необходимо использовать современные технологии виртуализации и коммуникаций.

**Выводы.** Применение высокотехнологичных средств на каждом из отдельных этапов сельскохозяйственного производства и их объединение в рамки единого технологического процесса требует создания системы сбора первичной информации. Систему сбора информации можно построить, используя современные технологии сбора, передачи, обработки и хранения данных.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на исследования предметной области, разработки алгоритмов и технологий сбора, первичной обработки и хранения информации.

#### Список использованных источников

1. Бальченко И. В. Особенности информационных технологий управления сельскохозяйственным предприятием / И. В. Бальченко, В. В. Литвинов, В. П. Клименко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – № 3 (67). – С. 211–219.
2. Lytvynov V. V. Functional features of dispatching control centre for automatic control system of agricultural enterprise / V. V. Lytvynov, I. V. Mykhailiuk, A. S. Posadska // Математичні машини і системи. – 2014. – № 3. – С. 67–77.
3. Точное земледелие (Precision Agriculture) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.agrophys.com/Agrophys\\_files/Preagro/preagro.html](http://www.agrophys.com/Agrophys_files/Preagro/preagro.html).
4. Навигационные системы в сельском хозяйстве. Координатное земледелие / В. И. Балабанов, С. В. Железова, Е. В. Березовский, А. И. Беленков, В. В. Егоров ; под общ. ред. проф. В. И. Балабанова. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. – 143 с.
5. Точное земледелие – инновация в системе ресурсосберегающего земледелия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://geo.by/stories/files/doc/pr\\_agr.pdf](http://geo.by/stories/files/doc/pr_agr.pdf).
6. Мироненко В. Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинництві : монографія / В. Г. Мироненко. – К., 2005. – 271 с.

УДК 656.7.052:629.7.067(045)

**В.С. Паламарчук**, аспірант

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

#### АНАЛІЗ РИЗИКІВ В АЕРОНАВИГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

**В.С. Паламарчук**, аспірант

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

#### АНАЛИЗ РИСКОВ В АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

**Viktor Palamarchuk**, PhD student

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

#### RISK ANALYSIS IN AIR NAVIGATION SYSTEMS

*Розглянуто основні ризики в аеронавігаційних системах. На підставі аналізу авіаційних подій за 2009–2013 роки визначено основні причини, які збільшують рівень авіаційного ризику. Всі проаналізовані ризики є причинами виникнення авіаційних інцидентів або катастроф. У разі збільшення інтенсивності польотів виникають додаткові ризики або посилюється роль основних ризиків, які можуть призводити до авіаційних подій. Дуже важливим є процес контролю рівня ризиків та своєчасного його зменшення. На основі аналізу методів збільшення пропускної спроможності сектору та аеродрому запропоновано методи зменшення впливу ризиків під час збільшення інтенсивності.*

**Ключові слова:** аналіз ризиків, збільшення інтенсивності, інтенсивність, пропускна спроможність, єдиний повітряний простір.

*Рассмотрены основные риски в аэронавигационных системах. На основании анализа авиационных происшествий за 2009–2013 годы определены основные причины, которые увеличивают уровень авиационного риска. Все проанализированные риски являются причинами возникновения авиационных инцидентов или катастроф. При увеличении интенсивности полетов возникают дополнительные риски или усиливается роль основных рисков, которые могут приводить к авиационным происшествиям. Очень важным является процесс контроля уровня рисков и своевременного их уменьшения. На основе анализа методов увеличения пропускной способности сектора и аэродрома предложены методы уменьшения влияния рисков при увеличении интенсивности.*

**Ключевые слова:** анализ рисков, увеличение интенсивности, интенсивность, пропускная способность, единое воздушное пространство.

*Considered main risks in aeronautical systems. Based on analysis of aviation events in 2009–2013 years, defined the main causes that increase the level of aviation risk. All risks are reasons of aviation accidents or incidents. In case of increasing intensity of flights additional risks are appeared or main risks have increased influence. Process of monitoring risk level and timely reduction of it are very important. Based on the analysis of methods of increasing of capacity of the ATC sector and airfield, proposed methods of reduction risk influence due to increasing of traffic.*

**Key words:** analysis of risks, increasing of intensity, intensity, capacity, Single Sky.

**Постановка проблеми.** Останніми десятиліттями завдяки прийнятим світовою авіаційною спільнотою заходам з мінімізації ризиків було:

- зменшено вплив ризиків на безпеку польотів;
- розроблено методи зменшення рівня ризиків.

Аналіз негативних авіаційних подій у цивільній авіації дозволив розробити та запровадити методи для зменшення рівня ризиків, але вони не врахували ризиків, пов'язаних зі збільшенням інтенсивності польотів.

**Мета роботи** – дослідження ризиків, які виникають у разі збільшення інтенсивності польотів, та розроблення методів для зменшення їх рівня.

Виявлення ризиків, які виникають під час збільшення інтенсивності, та розроблення методів зменшення їх впливу є дуже важливим завданням безпеки польотів, оскільки з кожним роком збільшується кількість польотів і разом з ними зростає вплив ризиків та з'являються нові.

### **Небезпеки та ризики в аеронавігаційній системі**

Керування факторами ризику – це вид основної діяльності, що забезпечує керування безпекою польотів і сприяє здійсненню інших організаційних процесів.

Термін «керування факторами ризику для безпеки польотів» на відміну від загального терміна «керування факторами ризику» означає, що керування безпекою польотів не спрямоване безпосередньо на керування чинниками фінансового, правового, економічного ризику тощо, а передусім стосується тільки керування чинниками ризику для безпеки польотів.

Навіть після зведення використання загального терміна ризик до конкретнішого терміна ризику для безпеки польотів усе ще може виникнути нерозуміння, тому що поняття ризику є штучним поняттям.

Чинники ризику для безпеки польотів не є відчутними або видимими компонентами будь-якого фізичного або природного середовища. Для того, щоб зрозуміти чинники ризику для безпеки польотів або сформулювати образне поняття про них, необхідно уявити чинники ризику для безпеки польотів. Поняття ризику для безпеки польотів – це те, що відомо як уявна концепція, тобто створена людиною штучна умовність. Якщо чинники небезпеки і наслідку є фізичними компонентами природного довкілля, чинники ризику для безпеки польотів насправді в ній не існують. Ризик для безпеки польотів – це продукт людської свідомості, призначений для того, щоб виміряти серйозність наслідків чинників небезпеки або «пронумерувати» їх.

Ризик для безпеки польотів визначається як оцінювання наслідків небезпеки, виражена у вигляді прогнозованої вірогідності або серйозності. При цьому за контрольний орієнтир береться найгірша ситуація.

Складна взаємодія факторів, які в сукупності призводять до аварій, ніколи не була більш очевидною, ніж у разі спроби зрозуміти і кількісно оцінити вплив людської продуктивності. Як важливий компонент системи авіації людина часто наводиться як слабка ланка в ланцюзі. Дійсно, існує багато статистичних даних, які демонструють, що основними факторами, що спричиняють аварії, є «льотний екіпаж» або «людський фактор».

Однак більш збалансований погляд показує, що людина є найгнучкішою ланкою, яка найкращим способом підходить для адаптування до змін та обставин у непередбачуваних ситуаціях. Також людина є останньою ланкою, яка в змозі відвернути можливість виникнення надзвичайної події. Проте людина є не єдиним фактором ризику в безпеці польотів.

### **Основні ризики в аеронавігаційних системах**

До основних факторів, які призводять до аварій, можна віднести:

- 1) неправильність сприйняття ситуації;

- 2) помилки під час прийняття рішень;
- 3) невиконання вказівок диспетчерів ОНР;
- 4) непорозуміння між пілотом та диспетчером ОНР;
- 5) втома та перевтома;
- 6) погана підготовка екіпажу до виконання польоту;
- 7) неякісне обслуговування ПК;
- 8) несприятливі погодні умови;
- 9) низький рівень підготовки авіаційного персоналу;
- 10) відсутність досвіду та інші.

Для виявлення факторів ризику потрібний детальний аналіз авіаційних подій, тому використовують розподіл ризиків на групи.

До основних груп ризиків можна віднести:

- 1) обслуговування повітряного руху;
- 2) сервіс ПС;
- 3) конструкцію ПС;
- 4) навколишнє середовище;
- 5) ризики під час виконання операцій;
- 6) неправильну роботу аеронавігаційних засобів та інші.

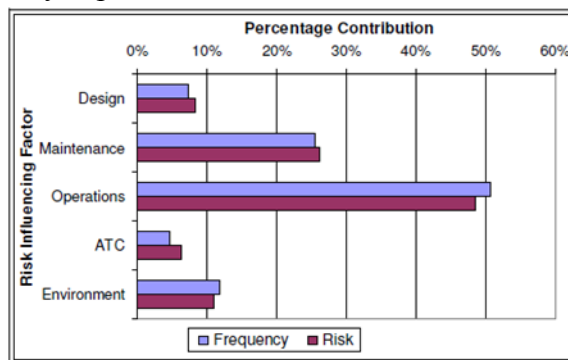


Рис. 1. Розподіл факторів ризику в загальній кількості аварій та загального ризику [5]

На рис. 1 показано, які з груп ризиків мають найбільший вплив на безпеку польотів. Роблячи висновок на основі даних, зображених на рис. 1, можна побачити, що основна кількість авіаційних подій виникає в результаті неправильного виконання певних операцій.

Операції з виконання заходу на посадку та сама посадка ПС є одними з найбільш помилкових операцій.

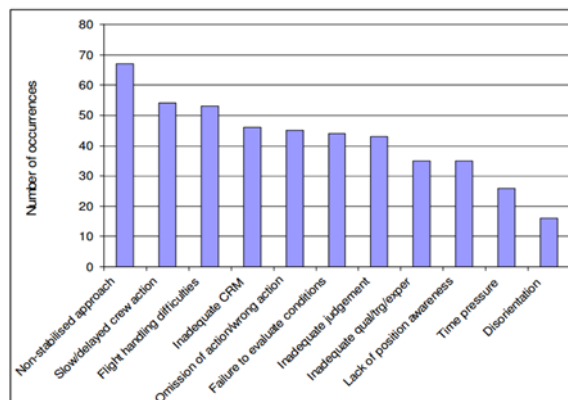


Рис. 2. Причини аварій під час заходу на посадку та самої посадки [5]

Враховуючи дані рис. 2, можна побачити основні ризики під час заходу на посадку та зробити висновок, що основна загроза – це помилкове виконання тієї чи іншої опе-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

рації. Також важливу роль відіграють погодні умови, за яких виконується політ. В умовах високої інтенсивності ризику, зображені на рис. 2, можуть збільшуватися в декілька разів.

Збільшені інтенсивності польотів призведе до збільшення ролі авіаційних ризиків у безпеці польотів. До ризиків, які збільшать вплив на безпеку, можна віднести такі:

- втома та перевтома авіаційного персоналу;
- недостатній рівень підготовки авіаційного персоналу;
- тиск часових меж на виконання певних операцій;
- непорозуміння між пілотом та диспетчером ОНР;
- свідоме виконання неправильних операцій;
- нерозуміння повітряної ситуації та інші.

Вищенаведені ризики будуть відігравати важливу роль у дотриманні допустимого рівня авіаційної безпеки, оскільки у разі досягнення максимальних значень пропускної спроможності сектору, диспетчера та аеродрому є дуже небезпечним. Для підготовки авіаційного персоналу для роботи в умовах постійної високої інтенсивності потрібен час, також він потрібен для введення заходів для підвищення пропускної спроможності.

#### Аналіз стану безпеки польотів

Авіаційне співтовариство завжди із задоволенням відзначає покращення результатів своїх зусиль, спрямованих на забезпечення безпеки польотів.

Аналізуючи міжнародні дані за період 2009–2013 років, можна зробити висновок про зменшення кількості авіаційних подій (рис. 3).

Частота авіаційних подій протягом 2013 року в світі зменшилась на 13 % і становила 2,8 на мільйон вильотів, у порівнянні з 2012 роком: 3,2 на мільйон вильотів.

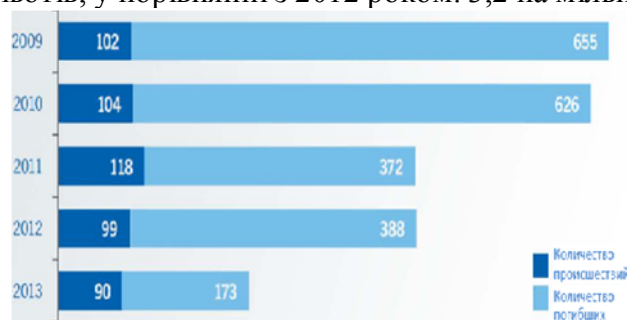


Рис. 3. Кількість авіаційних подій 2009–2013 рр. [4]

Кількість авіаційних подій із смертями в 2013 році залишилась без змін і становила – 9, при цьому загальна кількість загиблих зменшилась до 173 осіб. Порівняно з 2012 роком – зменшення становило 55 %. Використовуючи 2010 рік, як основу для порівняння, кількість загиблих зменшилась на 72 %.

#### Методи зменшення рівня ризиків

Проблему мінімізації ризиків можна вирішити лише у глобальному масштабі. Євроконтроль, наприклад, запропонував концепцію єдиного повітряного простору (Single Sky) та глобальної сумісності (Interoperability), які допоможуть вирішити європейські та світові проблеми з пропускної спроможності, ефективного використання повітряного простору та інше. А це, в свою чергу, приведе до мінімізації ризиків та їх впливу на безпеку польотів.

Для мінімізації також можна використовувати такі методи:

- запровадження більш точних навігаційних систем;
- застосування мінімальних безпечних інтервалів та норм ешелонування;
- зведення до мінімуму обмеження використання повітряного простору;
- практична підготовка авіаційного персоналу в умовах високої інтенсивності;

- використання часового розподілу прильоту та вильоту;
- розроблення та впровадження нових маршрутів польоту;
- вдосконалення наявних та розроблення нових маршрутів SID та STAR;
- моніторинг сезонних збільшень кількості польотів та підтримання їх кількості в умовах максимальної допустимої пропускної спроможності.

Яскравий приклад успішної підготовки до дії в умовах високої інтенсивності продемонструвала Україна під час проведення Євро-2012.

**Висновки.** Для більш чіткого аналізу можливих ризиків у разі збільшення інтенсивності потрібен глибокий аналіз авіаційних подій, які траплялися за умови високої інтенсивності.

Спрогнозувати та розробити механізми дотримання ризиків на допустимому рівні в умовах високої інтенсивності досить важко.

Оскільки зріст інтенсивності може відбутися за рахунок збільшення кількості польотів, найбільш прогнозований фактор, несприятливих погодних умов, введення в дію обмеження використання повітряного простору та інше.

Однозначно, що під час збільшення хоча б на 1 % інтенсивності польотів, відбудеться збільшення ролі певної кількості факторів ризику, що, в свою чергу, потребує швидкої реакції авіаційного персоналу.

#### Список використаних джерел

1. Козлов В. В. Безопасность полетов: от обеспечения к управлению / В. В. Козлов. – М. : Аэрофлот, 2010. – 270 с.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов / за ред. Р. Бенджамина. – Изд. 2-е. – Монреаль : ИКАО, 2009. – 308 с.
3. Энциклопедия безопасности авиации / М. С. Кулик, В. П. Харченко и др. – К. : Техника, 2008. – 1000 с.
4. ICAO safety report [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.icao.int/safety/Documents/ICAO\\_2014%20Safety%20Report\\_final\\_02042014\\_web.pdf](http://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_2014%20Safety%20Report_final_02042014_web.pdf).
5. International General Aviation and Corporate Aviation Risk Assessment (IGA-GARA) Project. – Department of Air Transport Cranfield University. – 2005. – 79 p.

УДК 004.94:377

**Inna Khomenko**, PhD in Technical Sciences

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

#### COMBINING SPACE GRAMMARS AND GEOMETRIC MODELS: SYNTHESIS, MODIFYING AND COMPARISON

**I.V. Хоменко**, канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна

#### ПОЄДНАННЯ ПРОСТОРОВИХ ГРАМАТИК ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ: ГЕНЕРАЦІЯ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА ЗІСТАВЛЕННЯ

**I.V. Хоменко**, канд. техн. наук

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина

#### СОЧЕТАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГРАМАТИК И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ: ГЕНЕРАЦИЯ, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И СОПОСТАВЛЕНИЕ

*This proposal introduces combining space grammars and geometric models, a formalism for generation complex models of rigid solid objects. Solids are represent by their primitives with coordinate position. Labels may be associated with any of these elements. Rules match conditions of a solid or collections of solids and may modify them or create additional solids. A grammar uses an initial solid and a set of rules to produce a language of solid models.*

*Unary operations are introduce to ensure the validity of the representations. These operations take models that may have self-intersections, interpret the models considering the given geometry and face orientations, and produce valid models.*



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*The proposed formalism has been implemented. Grammars that have been demonstrated that generate simple geometric forms, more extensive grammar generate engineering details.*

**Key words:** *space grammar, geometric models, engineering design and practice.*

*Запропоновано поєднання просторових граматики і геометричних моделей, формальний опис генерації складних моделей твердотілих елементів. Тіла представлені своїми примітивами з узгодженим розташуванням. Позначення можуть бути пов'язані з будь-яким із цих елементів. Правила інтерпретують стан елемента або їх сполучення і можуть їх перетворювати або створювати додаткові елементи. Граматика використовує первісний елемент та набір правил для утворення мови твердотілого моделювання.*

*Унарні операції вводяться для забезпечення достовірності представлень. Ці операції приймають моделі, які можуть перетинатися, представляють моделі з урахуванням заданої геометрії й орієнтації та створюють правильні моделі. Запропонований формальний опис реалізовано. Продемонстровані граматики генерують прості геометричні форми, більш складні граматики генерують інженерні деталі.*

**Ключові слова:** *просторові граматики, геометричні моделі, інженерне проектування і практика.*

*Предложено сочетание пространственных грамматик и геометрических моделей, формальное описание генерации сложных моделей твердотельных элементов. Тела представлены своими примитивами с согласованным расположением. Обозначения могут быть связаны с любым из этих элементов. Правила интерпретируют состояние элемента или их сочетание и могут их преобразовывать или создавать дополнительные элементы. Грамматика использует первоначальный элемент и набор правил для получения языка твердотельного моделирования.*

*Унарные операции вводятся для обеспечения достоверности представлений. Эти операции принимают модели, которые могут пересекаться, представляют модели с учетом заданной геометрии и ориентации и создают правильные модели. Предложенное формальное описание реализовано. Продемонстрированные граматики генерируют простые геометрические формы, более сложные граматики генерируют инженерные детали.*

**Ключевые слова:** *пространственные граматики, геометрические модели, инженерное проектирование и практика.*

**Formulation of the problem.** The basic data in the training system of computer graphics are geometric models, because they help describe any engineering projects and construction problems usually solved using geometric transformation models. To date, not yet fully evaluated spatial modeling capabilities in technology training and retraining for the design and production engineering, and for their operation and maintenance.

The presentation of knowledge we understand a set of methods, formal languages and specialized tools that allow professionals subject area to determine a way to solve the problem. Variants of knowledge presentation focused on the description of the subject area and are intended to address the problem of attracting specialist subject area in the process of developing automated systems. Design procedures are created by experts specialized knowledge representation languages and using the tools included in the final software program or turn to the defined programming language.

Knowledge representation languages should be similar to the description of the subject area presented in reference books available for understanding and relevant experts. In the process the problem is solved and simplified its formalization. Formal knowledge accumulated in an accessible form for reuse. Knowledge representation allows to isolate application problems of development and structure of tasks related to programming. Subject area specialists and programmers can work on creating an automated system in parallel. Simplified support ready automated system.

Thus, one could argue that the development and implementation of tools for synthesis, modifying and comparison of geometric models, including computerization system for engineering education is relevant and promising research due to the trend towards individualization of learning and efficiency of education.

**Recent research and publications.** Recently, much attention should spatial grammar, languages which are set spatial figures, and not one-dimensional strings. In particular, Mr. Wang and W. Hrosky [4] examined the relationship between the classical structural models, parallel spatial grammars and programmable parallel grammars that have sufficient capacity both in theoretical and applied aspects. They were investigated general features like the generation of space using spatial grammars defined structural model of parallel spatial grammars and programmable parallel grammars. But many issues in this area remain open.

**The purpose of the article.** Given the advantages and disadvantages of traditional languages and languages of artificial intelligence is proposed to implement specialized language that uses the principles of artificial intelligence declarative languages and sold in object-oriented languages. Designed we should take into account the specific representation of geometric models.

**About Constructive Solid Geometry (CSG).** A CSG model is based on the topological notion that a physical object can be divided into a set of primitives (basic elements or shapes) that can be combined in a certain order following a set of rules (Boolean operations) to form the object. Each primitive is bounded by a set of surfaces; usually closed and orientable. A CSG model is fundamentally and topologically different from a B-rep model in that the former does not store explicitly the faces, edges, and vertices. Instead, it evaluates them whenever applications' algorithms need them, e.g., generation of line drawings. The concept of primitives offers a different conceptual way of thinking that may be extended to model engineering processes such as design and manufacturing. It also appears that CSG representations might be of considerable importance for manufacturing automation as in the study of process planning and rough machining operations.

The modeling domain of a CSG scheme depends on the half-spaces that underlie its bounded solid primitives, on the available rigid motion and on the available set operators. For example, if two schemes have the same rigid motion and set operations but one has just a block and a cylinder primitive and the other has these two plus a tetrahedron, the two schemes are considered to have the same domain. Each has only planar and cylindrical half-spaces, and the tetrahedron primitive the other system offers is just a convenience to the user and does not extend its modeling domain. Extending the solid modeling domain to cover sculptured surfaces requires representing a "sculptured" half-space and it is supporting utilities.

Primitives themselves are considered valid "off-the-shelf" solids. In addition, some packages, especially those that support sweeping operations, permit users to utilize wireframe entities to create faces that are swept later to create solids.

There is a wide variety of primitives available commercially to users. However, the four most commonly used are the block, cylinder, cone and sphere. These are based on the four natural quadrics: planes, cylinders, cones, and spheres. These quadrics are considered natural because they represent the most commonly occurring surfaces in mechanical design which can be produced by rolling, turning, milling, cutting drilling, and other machining operations used in industry.

From a user-input point of view and regardless of a specific system syntax, a primitive requires a set of location data, a set of geometric data, and a set of orientation data to define it completely. Primitives are usually translated and or rotated to position and orient them properly before applying boolean operations.

For interactive process geometric 3D-modeling bodies convenient to use mathematical logic operations (Fig. 1):

- Union  $A \cup B$ ; this operation brings together two solids into one and removes areas that intersect or overlap;
- Intersection  $A \cap B$ ; this operation creates a solid that contains only the intersection of two solids;
- Subtraction  $A \setminus B$ ; this operation allows you to remove one of the solids and any solids intersection.

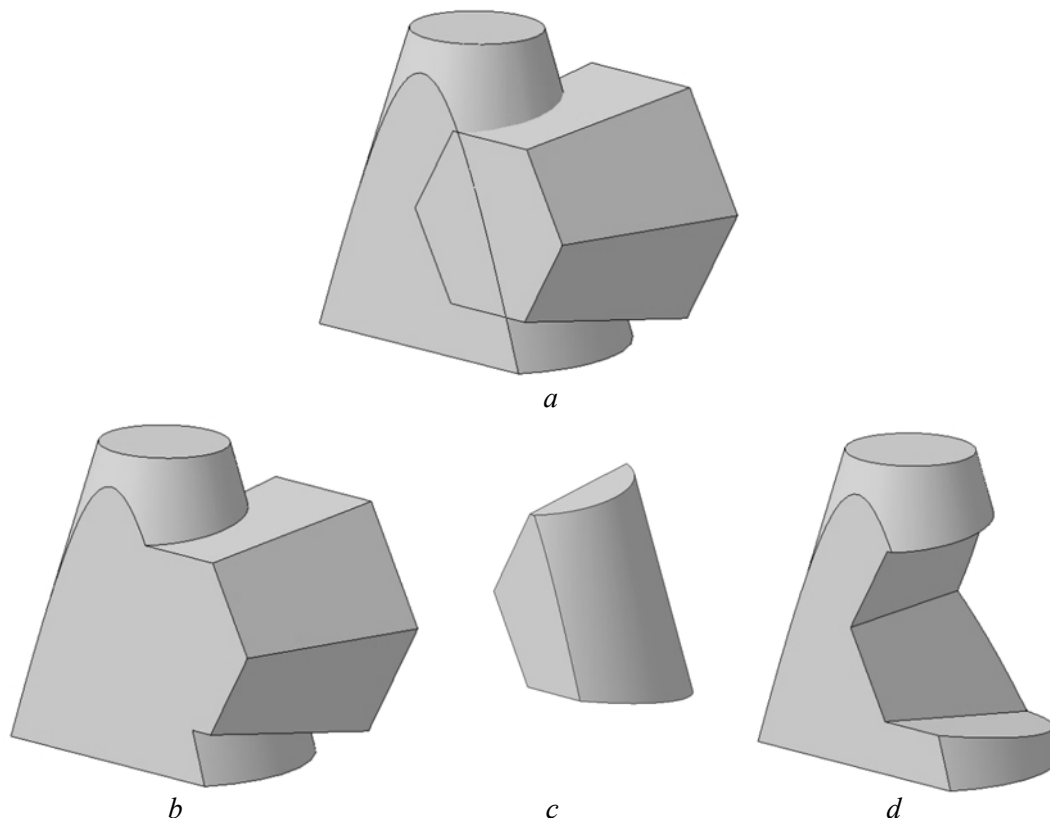


Fig. 1. Operations with solids:

*a* – position of solids *A* and *B*; *b* – union  $A \cup B$ ; *c* – intersection  $A \cap B$ ; *d* – subtraction  $A \setminus B$

**Grammar modeling.** Proposed language representation of geometric parametric models described grammar  $G_T = (E, A, x ::= y, S)$ , where *E* – finite set of elements; *A* – finite set of operations;  $x ::= y$  – finite set of inference rules; *S* – geometric patterns ( $S \in E$ ).

In the simplest case, the transactions volume bodies withdrawal rules are presented as follows [1]:

$\langle \text{model} \rangle ::= \langle \text{item} \rangle | \langle \text{model} \rangle \langle \text{operation} \rangle \langle \text{item} \rangle$   
 $\langle \text{operation} \rangle ::= \cup | \cap | \setminus$

Further expansion resulted grammar is adding special operations modeling, including the establishment of membranes, chamfers, fillets, ribs, arrays and other elements. In general, modeling grammar ambiguous or non-determined.

Tree Grammar output simulation model defines a tree or wood constructions of the product. The root object tree – model part or product. Components assembly unit – parts and assembly units – are independent model. Each leaf in this tree corresponds operand, and each parent node – operation (Fig. 2).

The nodes of the tree is the real body and the relevant parameters.

Presentation models as binary trees (degree not more than two) can effectively perform the most common operation – rebuilding model.

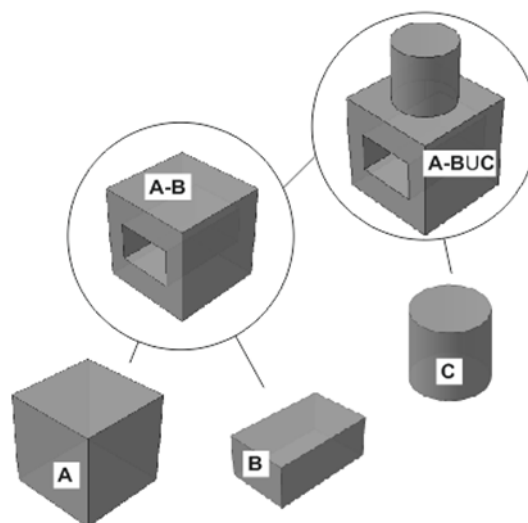


Fig. 2. The tree of output modelling grammar

Figure 3 shows a typical solid and its building primitives. This solid can be built following the steps below:

- $B_1 = \text{block positioned properly}$
  - $B_2 = \text{block positioned properly}$
  - $B_3 = \text{block}$
  - $B_4 = B_3 \text{ moved properly in the } X \text{ direction}$
  - $C_1 = \text{cylinder positioned properly}$
  - $C_2 = C_1 \text{ moved properly in the } X \text{ direction}$
  - $C_3 = \text{cylinder positioned properly}$
  - $C_4 = C_3 \text{ moved properly in the } X \text{ direction}$
- } Primitives' definitions
- $S_1 = B_1 \cup * B_3$
  - $S_2 = S_1 \cup * C_1$
  - $S_3 = S_2 \cup * C_3$
- } Construct left half
- $S_4 = B_2 \cup * B_4$
  - $S_5 = C_2 \cup * S_4$
  - $S_6 = C_4 \cup * S_5$
- } Construct right half
- $S = S_3 \cup * S_6$  } Model

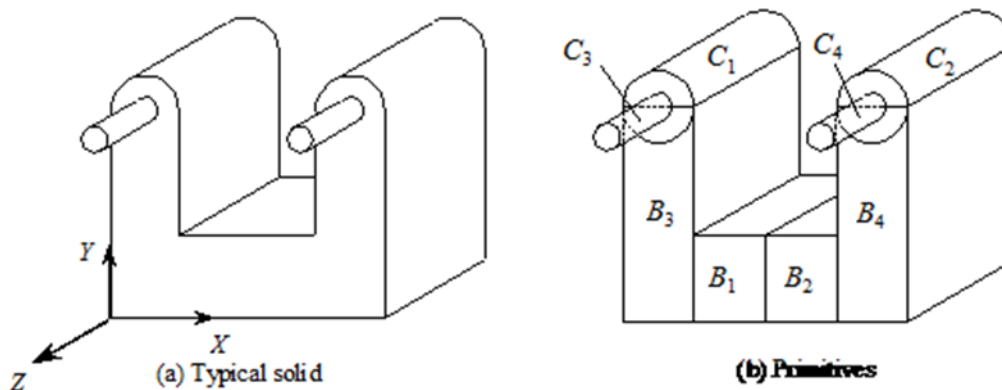


Fig. 3. A typical solid and its building primitives

A CSG tree is defined as an inverted ordered binary tree whose leaf nodes are primitives and interior nodes are regularized set operations. The creation of a balanced, unbalanced, or a perfect CSG tree depends solely on the user and how he/she decomposes a solid into its primitives. The general rule to create balanced trees is to start to build the model from an almost central position and branch out in two opposite directions or vice versa. Another useful rule is that symmetric objects can lead to perfect trees if they are decomposed properly. Figure 4 shows a perfect CSG tree (a) and an unbalance CSG tree (b).

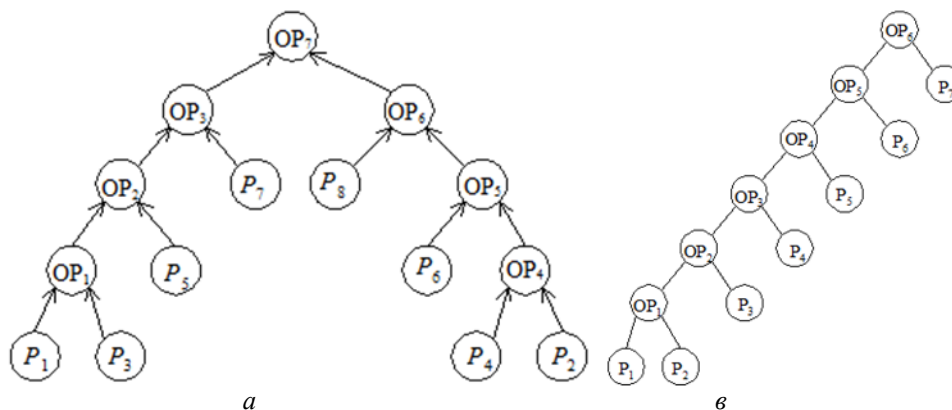


Fig. 4. CSG trees: a – of a typical solid; b – unbalanced CSG tree

**Language of modelling.** Language L, based on grammar  $GT = (E, A, x ::= y, S)$  is designed to create knowledge bases saturated engineering graphics. The author realized modeling language means creating models interpreted in the form of expansion by means of Pascal among Delphi Borland. The basic operation of the language is equivalent modify models.

In the unformalized form equivalent transformation takes place, for example, in the recording when combining commutativity law in the form  $a + b = b + a$ . Equality of variables is called a model and reflects the infinite set of equations, if the variables in place to substitute an item (Fig. 5).

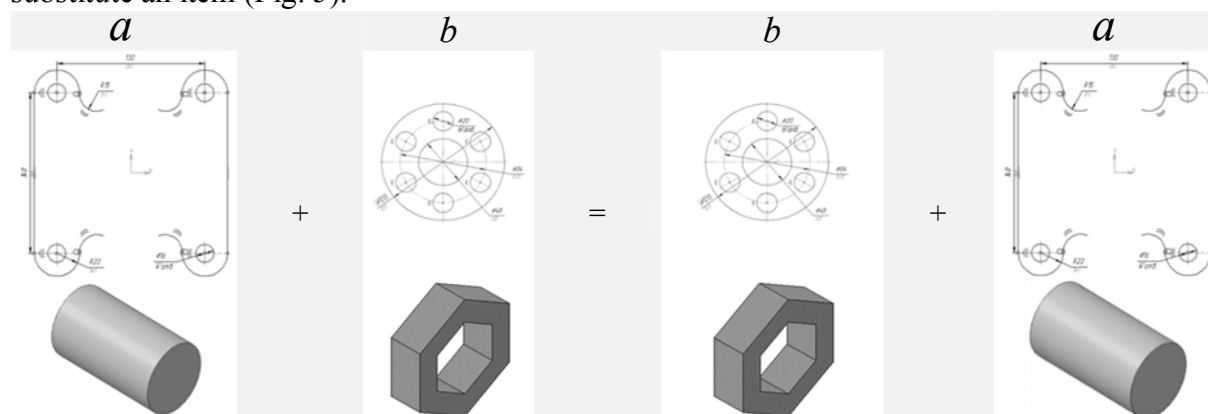


Fig. 5. The set of equations when use the Union

**Conclusions and suggestions.** The developed formal models comparison processes of structural transformation and geometric models, which enables create dynamic knowledge base. Created structure of the learning process engineering disciplines and developed tools for creating graphics and control tasks.

The practical significance of the results is in create an effective information resource formation technology computer aided teaching engineering disciplines based on the developed methods and software. Information technology implemented in universities of Ukraine and used in the study of engineering disciplines.

### References

1. Варсанюфьев Д. В. Основы компиляции [Электронный ресурс] / Д. В. Варсанюфьев, А. Г. Дымченко. – Режим доступа : <http://www.codenet.ru/progr/alg/cmp/intro.php>.
2. Пальчевський Б. О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування : монографія / Б. О. Пальчевський. – Луцьк : Луцький НТУ, 2012. – 572 с.
3. Хоменко І. В. Еквівалентні перетворення геометричних моделей / Інна Володимирівна Хоменко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 1/4 (61). – С. 34–42.
4. Book of Abstracts // The 6<sup>th</sup> Intern. Conf. on Mathem. Modelling, Sant-Louis, 1987.
5. Sosnovsky S. Web-based Parameterized Questions as a Tool for Learning / S. Sosnovsky, O. Shcherbinina, P. Brusilovsky // Proceedings of E-Learn 2003, Arizona USA. – 2003.

УДК 004.415

**Vitalii Lytvynov**, Doctor of Technical Sciences  
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**Olena Skakalina**, PhD in Technical Sciences

**Inna Khomenko**, PhD in Technical Sciences

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

### THE CONCEPT 5PL-LOGISTICS AS A MEANS OF INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT NATIONAL AGRICULTURAL HOLDINGS

**В.В. Литвинов**, д-р техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**О.В. Скакаліна**, канд. техн. наук

**І.В. Хоменко**, канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна

### КОНЦЕПЦІЯ 5PL-ЛОГІСТИКИ ЯК ЗАСІБ ІНФРАСТРУКТУРНОГО РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНИХ АГРОХОЛДІНГІВ

**В.В. Литвинов**, д-р техн. наук

Черніговський національний технічний університет, г. Чернігов, Україна

**Е.В. Скакаліна**, канд. техн. наук

**И.В. Хоменко**, канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, г. Полтава, Україна

### КОНЦЕПЦИЯ 5PL-ЛОГИСТИКИ КАК СРЕДСТВО ИНФРАСТРУКТУРНОГО РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ АГРОХОЛДИНГОВ

*It is shown that the solution move up one level 5PL-LOGISTICS in terms of national agricultural holding is in the intelligent application of information technology. Application of evolutionary algorithms to optimize logistics processes and group method of arguments based neural network solving short-term forecasting economic performance of the agricultural holding. A structural solution is economically feasible, as can significantly reduce major expenditures entity.*

**Key words:** agricultural holding, 5PL-LOGISTICS, information technology, evolutionary algorithms, group method of data handling, neural network, ERP-system.

*Показано, що вирішення проблеми переходу на рівень 5PL-LOGISTICS в умовах національного агрохолдингу полягає у застосуванні інтелектуальних інформаційних технологій. Запропоновано застосування еволюційних алгоритмів для оптимізації логістичних процесів та методу групового врахування аргументів на основі нейромережі для вирішення задач короткотермінового прогнозування економічних показників агрохолдингу. Висунуто структурні рішення є економічно доцільними, оскільки дозволяють суттєво скоротити основні статті витрат господарюючого суб'єкта.*

**Ключові слова:** агрохолдинг, 5PL-LOGISTICS, інформаційні технології, еволюційні алгоритми, метод групового врахування аргументів, нейромережа, ERP-система.

*Показано, что решение проблемы перехода на уровень 5PL-LOGISTICS в условиях национального агрохолдинга заключается в применении интеллектуальных информационных технологий. Предложено использование эволюционных алгоритмов для решения задач кратковременного прогнозирования экономических показателей агрохолдинга. Высунутые структурные решения являются экономически целесообразными, т. к. позволяют существенно сократить основные статьи затрат субъекта хозяйствования.*

**Ключевые слова:** агрохолдинг, 5PL-LOGISTICS, информационные технологии, эволюционные алгоритмы, метод группового учета аргументов, нейросеть, ERP-система.

**Problem formulation.** Currently, logistics is one of the fastest growing areas of productive activity. This process is associated not only with the growing demand for logistics services, but also with the strengthening of mutual integration of business opportunities while logistics and infrastructure development of the Territories. The most significant development of methods and algorithms of interaction of the logistics processes is due to the rapid development of information technology, which resulted in a widespread network of organizational forms of business, on-line flow of documents, the transition to electronic payment systems, virtualization logistic processes, etc. On the basis of the information infrastructure of innovation Logistics takes you to a new level of intelligent control processes, the formation of new logistics concepts "PartyLogistics".

Given the factor that Ukraine is one of the largest of the manufacturers and suppliers of grain to the world food markets, as well as the high quality of the cereal, national agricultural area has a very high investment potential Ukraine is able to influence the world food market, from Ukraine depends heavily on food security meathure. Ministry Agrarian Policy and Food of Ukraine in 2015, has developed a draft single integrated strategy to develop agriculture and rural areas in the 2015–2020 years, one of the main goals of which is increase efficient use of existing infrastructure, the creation of a stable climate for investment in Agrologistics, reduced logistics costs.

In April 2015 in Ukraine, given start of development national control movement of goods on the basis of modern information technologies, which attaches great importance to the solution of the problem of optimization of logistic processes in agricultural holdings.

**Analysis of recent research and publications.** One of the main trends of the world market is to increase the concentration of capital for the main core business. To perform non-core functions can be created subsidiaries. However, at the present stage, these functions are increasingly directed to outsourcing. In full, this trend is observed in the area of logistics services. You can use as an example the United States, where the turnover of logistics services is about \$ 40 billion. Currently, logistics is one of the fastest growing fields. This is due not only to increased demand for logistics services, but also to the development of infrastructural capacity in this business. The most significant changes in the ways and forms of interaction of the logistics caused by the development of information technologies, which resulted in the spread of networked organizational forms of business virtualization of logistics processes, the spread of electronic document management, the use of electronic payment systems and so forth.

On the basis of innovation information logistics infrastructure is the development of management tools, formed new logistics concepts such as “Party Logistics” [1], which are based on determining the level of involvement of independent companies (logistics providers / operators) to solve customer business problems. Now it allocates 1PL-, 2PL-, 3PL-, 4PL- and 5PL-logistics. 5PL-level (Fifth Party Logistics) provides support for advanced network computing.

Distributed following classification of logistics operators [2] in the context of supply chain management. 1PL - an autonomous logistics, in which all operations are carried out by the contracting authority; 2PL involves engaging a third party to perform work of a certain type; 3PL provides for the use of subcontractors; 4PL solves the problem of formation of the supply chain, planning, management and monitoring processes within the logistics organizations. 5PL provides the organization of logistics outsourcing by utilizing a global information space (Tabl. 1).

Table 1

*Features of the existing types of logistics, depending on the resource base*

Type logistics	Features of information space, resource properties	Type of communication resources
1PL	Own resources, focus on specific customers	Resources directly under the manager
2PL	Dedicated resources division, a wide range of customers	Resources are separated in division
3PL	Outsourcing resources, resources as customer	Possible outsourcing autonomous resources
4PL	Consulting, diverse resources, customers	The decision of the problem of cooperation of different resources
5PL	Resources are combined within the portal	Cooperation resources in the form of free interactions in the information space

Activities 5PL-provider (operator) is based on a complex of modern information technology.

Thus, 5PL-operator controls the main flow of information about orders, resources, plans and the actual state of the transport network. Models of management of interactive scheduling within 5PL considered in works [3].

5PL-provider - logistics outsourcer, providing full range of services through the use of global information and technology space. You could say that this - the so-called "Virtual" logistic partner in whose hands all the information about the logistics capabilities of market participants and the high-tech IT-products, allowing to build the most optimal supply chain. The European Union is actively financed from the budget of the new global development of IT-technologies in the field of logistics. As one of the potential outcomes of this process may appear unified information logistics network in the entire European Union. In Ukraine, begin work on the implementation of a new level of logistics services 5PL, enabling it to become one of the first countries in the world in this direction, because She is one of the leading places in the world in terms of IT professionals. Given the significant factor that in a period of consolidation of the world market producers competitive advantage will be the company with the right structure assets and investment strategies that use a flexible operating model and apply new information technologies. To take advantage of the huge opportunities offered by increasing global demand for agricultural qualitative products, agricultural companies must also apply more effective methods of business management. Selection of the unsolved parts of the general issue of problems key optimal structure of agricultural holding is vertical integration, which should ensure the value chain and the decline in market (price) risks.

Using business process modeling can not only analyze the current structure of agricultural holdings, but also to work out details of its new architecture. Through a simplified representation of real-world business processes in the form of a model achieved these goals:

- improving business processes through the development of scenarios and simulations;
- elimination of business processes which do not adding value;
- the elimination of overlapping functions / processes / roles / positions;
- creating a framework for the assessment and monitoring of the effectiveness of business processes;
- standardization activities;
- providing storage and knowledge transfer / replication of business processes;
- simplifying the process of learning and reducing the duration of the training of new employees.

Using business process modeling can not only analyze the current structure of agricultural holdings, but also to work out details of its new architecture. This leads, in turn, need to find new, previously unused management systems of agricultural enterprises, which would give the opportunity to obtain a synergistic effect due not only to optimize their facilities management, but also due to the interaction with related parties in the chain of promotion of agricultural raw materials and processed products (Tabl. 2).

Table 2

*The value chain of agricultural products, depending on the depth of processing*

<b>1<sup>st</sup> chain</b>	<b>2<sup>nd</sup> chain</b>	<b>3<sup>rd</sup> chain</b>
raw materials	raw materials	raw materials
plant growing	plant growing	plant growing
harvest safekeeping	harvest safekeeping	harvest safekeeping
Sale / Export	processing	fodder
<b>CUSTOMER</b>	distribution channels	cattle breeding
	<b>CUSTOMER</b>	meat-processing
		distribution channels
		<b>CUSTOMER</b>

In operation on the 1<sup>st</sup> chain of the crop agricultural producers forced to sell immediately after harvesting to cover current expenses and short-term loans. In this case the price of the product - the lowest.



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Operation on 2<sup>nd</sup> chain suggests keeping harvest to saving facilities (elevators). It is possible to consider the seasonal price increases. In addition, the availability of own or leased processing capacity allows to reduce the influence of international markets for grains and to diversify sales with products of deeper processing.

Operation on the 3<sup>rd</sup> chain includes, in addition to its own distribution channels cattle breeding and meat-processing. Cattle breeding is another one of the options to reduce the impact of the price situation by selling animal feed, meat in live weight, carcasses, milk, eggs and other agricultural products. Meat-processing and the milk-processing also allow to manage market risks by offering deep-processing products, differentiation and branding.

It is such an effective tool for managing agribusiness companies in Ukraine may be the concept of optimization of logistics in the direction of combining theoretical and methodological approaches used by the modern world experience optimizing material flow in logistics formations.

Due to the fact that Ukraine is estimated Ukrainian Logistics Association (ULA) [4] only formed logistics outsourcing market, forecasts for its growth on the order of 30–40 % per year. Due to the significant impact of innovative technologies on the production capacities of Ukraine, observed the growth dynamics of logistic operators (Tabl. 3):

Table 3

*The dynamics of growth of the national logistics operators*

PL-level	2006	2010	2014
1-PL	10	8	6
2-PL	89	73	34
3-PL	1	14	69
4-PL	0	1	5
5-PL	0	0	0

**The purpose of the article.** The main purpose of this article is to assess the current state of automation of logistical processes in Ukraine, study possibilities of integration in the supply chain of the European Union at the level of 5PL- Logistics, rationale for the use of evolutionary algorithms for solving the optimization of logistic processes. The expediency of applying the method of group account of arguments based on neural network for short-term forecasting of the basic economic indicators of agricultural holdings.

**Statement of the basic material.** As the domain objects have been chosen following agro - Education: AK KERNEL (international level), Astarta – Kiev (national level), LLC “Octane” (regional level, Poltava region).

In the framework of this topic provides the following solutions [5]:

1. Software implemented the classic genetic algorithm, which was used to optimize the process of transport routes in the above AH. Summary economic effect lies in the range 4,5–5 % of the initial amount of costs.

2. On the basis of WEB-technologies programmatically implemented algorithm ant colony that was used for the automation of optimal schedules and routes of freight traffic on the database Akhtyrsky plant Shishatskiy area in the Poltava region. Summary economic effect - from 4,84 to 9 % of the original reference plane.

3. A software module short-term forecasting of major economic indicators AX based GMDH neural network:

- cost of sales;
- gross income;
- net income;
- the volume of goods and services;
- selling, general and administrative costs.

Total of 15 budget items AH. The deviation from the actual predictive values in the range (0,9 to 9,89 %).

4. An automated information system for fleet management in the conditions of agricultural holdings taking into account the timing of technical inspections of units of utility vehicles, with the possibility of recording, analysis and prediction of all expense items.

5. An automated information management system storage capacity in a given agricultural holding, depending merchantability stored agricultural products from the time of its storage. Forecast module enables short-term forecasting of the basic indicators.

6. The automated management information system generating capacity under agricultural holdings, taking into account the structure of the cost of seed, taking into account the current state of the fertile layer, taking into account the costs of seasonal irrigation on fertilizing, management certification of industrial assets Arts. Forecast module enables short-term forecasting of the basic indicators.

7. Implemented a software application to solve the transportation problem in small transport companies (up to 25 units of transport) based on the use of software MS Excel. Minimizing the total cost of transport is an average of about 8 %.

8. Create Web-monitoring system of flights and the automatic distribution of technological transport flights in the online mode, to collect data on the actual costs of fuel, speed, traffic, monitoring current location of transport in real time.

**Conclusions and suggestions.** The proposed structural modules for IMS, based on which possible implementing ERP-system (4PL-level) and Internet Logistics (5PL-level) can improve the quality indicators of the national logistics uslug.Ukraine world's first introduced the concept in the context of 5PL Development Programme in Ukraine and strategies 2020.

Reforms that in Ukraine is one of the leading places in the world for programmers and IT professionals, the process of implementing the concept of "5PL-Logistics" can be treated as a component of the formation of a new innovative thinking.

### References

1. *State of Logistics: The Canadian Report 2008.* – URL: [www.ic.gc.ca/eic/dsiblogi.nsf/vwapj/pg00026\\_eng.pdf/\\$file/pg00026\\_eng.pdf](http://www.ic.gc.ca/eic/dsiblogi.nsf/vwapj/pg00026_eng.pdf/$file/pg00026_eng.pdf).

2. *Чернова Д. В.* Комплексная оценка экономической эффективности управления запасами оптово-посреднических организаций / Д. В. Чернова, С. В. Токманев // Вестник Самарского гос. экон. ун-та. – 2009. – № 10 (60). – С. 107–110.

3. *Ivaschenko A.* Multi-agent solution for business processes management of 5PL transportation provider. Lecture Notes in Business Information Processing, Springer Intern. Publ. – 2014. – Vol. 170. – P. 110–120.

4. *Проблемы и перспективы развития логистического аутсорсинга в транспортной системе Украины / А. Н. Пасечник, И. Г. Лебедь, В. В. Кутырев, К. М. Бугерко // Управление проектами, системный анализ и логистика : в 2 ч. Ч. 1. Серия: «Технические науки». – К. : НТУ, 2014. – Вып. 14.*

5. *Литвинов В. В.* Интеллектуальная информационная система как основа концепции 5PL-логистики / В. В. Литвинов, Е. В. Скакалина // Математическое и имитационное моделирование систем. МОДС 2015 : тезисы докладов X Международной научно-практической конференции (г. Чернигов, 22–26 июня 2015 г.). – Чернигов, 2015. – С. 127–131.

6. *CFTS (2015).* Unpublished Report on Agricultural Trade, Transport and Logistics in Ukraine, commissioned by the World Bank within the project Ukraine-Agricultural Trade, Transport, and Logistics.

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.314.1

**Oleksandr Husev**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### SMALL SIGNAL MODEL OF SINGLE-PHASE QUASI-Z-SOURCE INVERTER WITH COUPLED INDUCTORS

**О.О. Гусев**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### МАЛОСИГНАЛЬНА МОДЕЛЬ ОДНОФАЗНОГО КВАЗИ-ІМПЕДАНСНОГО ІНВЕРТОРА З МАГНІТО-ЗВ'ЯЗАНИМИ ІНДУКТИВНОСТЯМИ

**А.А. Гусев**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### МАЛОСИГНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОДНОФАЗНОГО КВАЗИ-ИМПЕДАНСНОГО ИНВЕРТОРА С МАГНИТО-СВЯЗАННЫМИ ИНДУКТИВНОСТЯМИ

*Focus is on the single-phase quasi-Z-source inverter with coupled inductor. State space averaging method is used for small-signal analysis. Small signal behavior of the converter expressed analytically in form of set of transfer functions. It can be used for controller design in closed loop system and analysis of inductor coupling.*

**Key words:** single-phase inverter, qZS network, small signal model.

*Розглянуто однофазний квазі-імпедансний інвертор з магніто-зв'язаними індуктивностями. Проведено лінеаризацію за методом усереднення в просторі станів. Складено матричний вираз, що описує в р-області поведінку перетворювача для малого сигналу. Аналітично отримано передавальні функції, які можна використовувати для синтезу замкнутої системи керування та проводити аналіз впливу магнітного зв'язку між індуктивностями.*

**Ключові слова:** однофазний інвертор, квазі-імпедансна ланка, малосигнальна модель.

*Рассмотрен однофазный квази-импедансный инвертор с магнито-связанными индуктивностями. Проведена линеаризация по методу усреднения в пространстве состояний. Составлено матричное выражение, описывающее в р-области поведение преобразователя для малого сигнала. Аналитически получены передаточные функции, которые можно использовать для синтеза замкнутой системы и анализа влияния магнитных связей между индуктивностями.*

**Ключевые слова:** однофазный инвертор, квази-импедансное звено, мало-сигнальная модель.

**Introduction.** Renewable energy capacity is growing rapidly. These energy sources supplied 21,7% of the world electricity consumption in 2014 [1]. In particular, solar Photovoltaic (PV) and wind power grew by almost 45,2% and 22,2% during the last years respectively [1].

Dc-ac converters are used to inject renewable energy into the grid. Traditionally, Voltage Source Inverters (VSIs) or Current Source Inverters (CSIs) are used. However, typically they cannot provide more than double input voltage regulation ratio because of the losses. To overcome that drawback, intermediate voltage boost dc-dc converters are used. At the same time, this solution as well as the control system are topologically complex due to the two-stage power conversion.

Z-source inverters overcome the limitation of the conventional inverters: they have buck, boost operation capability and do not suffer from short circuit. The Quasi-Z-Source Inverter (qZSI) has appeared as a derivation from the Z-source inverter. This circuit has continuous input current and used in different application [2–5]. Many review and comparison papers have been published [6; 7].

At the same time, the qZSI with coupled inductors is not studied enough. In particular influence of coupling on the input current ripple and dynamic behaviour.

**Objective of the paper.** The main goal of the paper is a composition of the small signal model of the qZSI with coupled inductor. The small signal model will allow further analysis of the current and voltage ripple in the passive components. Also dynamic behavior analysis can be done by means of small signal model. Fig. 1 illustrates investigated topology of the single-phase qZSI.

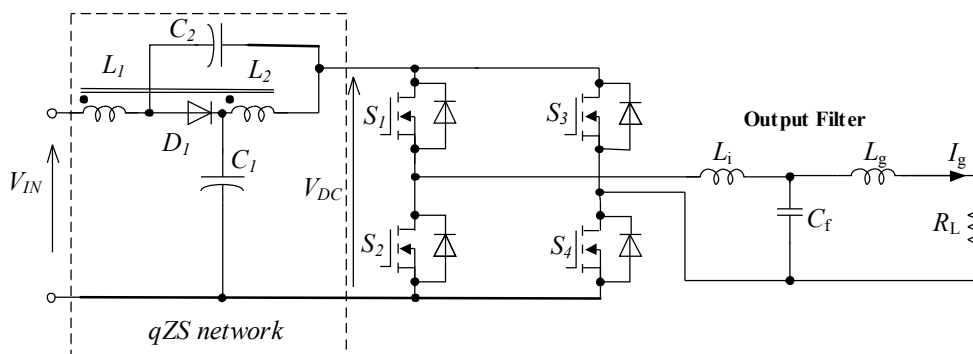


Fig. 1. Investigated topology of the single-phase qZSI

**Main part of the paper.** The averaging method in a state space is used to analyze the stability of PWM converters [8] and current and voltage fluctuating [9]. In general, switching period of the any switching converter is broken into intervals on which it is replaced by a linear circuit. On the *i*-th interval of his work describes the system of equations:

$$\begin{cases} K \frac{dx(t)}{dt} = A_i x(t) + B_i u(t), \\ y(t) = C_i x(t) + E_i u(t), \end{cases} \quad (1)$$

where  $K, A_i, B_i, C_i, E_i$  – the matrix of coefficients on the *i*-th interval;  $x(t)$  – the state vector;  $u(t)$  – vector of input variables;  $y(t)$  – vector of output variables. Hereinafter, bold matrices and vectors. As states decided to choose a minimum set of voltages and currents in containers inductances, which completely describe the system.

Further averaging system of equations over the period of the converter. Averaged model of the system of equations in matrix form:

$$\begin{cases} \frac{d\langle \mathbf{x}(t) \rangle_T}{dt} = \mathbf{A}_{av} \langle \mathbf{x}(t) \rangle_T + \mathbf{B}_{av} \langle \mathbf{u}(t) \rangle_T, \\ \langle \mathbf{y}(t) \rangle_T = \mathbf{C}_{av} \langle \mathbf{x}(t) \rangle_T + \mathbf{E}_{av} \langle \mathbf{u}(t) \rangle_T. \end{cases} \quad (2)$$

where  $A_{av}, B_{av}, C_{av}$  and  $E_{av}$  – averaged coefficient matrix describing the behavior of the adjustable in the averaged values. Here and below, angle brackets  $\langle \rangle_T$  denote averaging of magnitude over the period of switching  $T$ . We write more, which are averaged matrix.

Further, all state averages, input voltage and the control signal represented as a constant component and a variable component of small amplitude with a frequency below the switching frequency drive:

$$\begin{cases} \langle x(t) \rangle_T = X + \tilde{x}(t); \langle u(t) \rangle_T = U + \tilde{u}(t) \langle y(t) \rangle_T = Y + \tilde{y}(t), \\ \langle d_i(t) \rangle_T = D_i + \tilde{d}(t). \end{cases} \quad (3)$$

In order to estimate values of the passive components and dynamic properties the steady state analysis is detailed below. The operating period of the qZSI in the CCM can be divided into only two time intervals and can be represented by means of two equivalent circuits. It means that all switching states can be separated into two modes: active states (Fig. 2, *a*) and ST state (Fig. 2, *b*) correspondently.

The magnetically coupled inductors are represented by means of an equivalent circuit that contains an ideal transformer with a turns ratio  $N_1:N_2$ , magnetizing inductance  $L_M$  and leakage inductance  $L_L$  [10; 11].

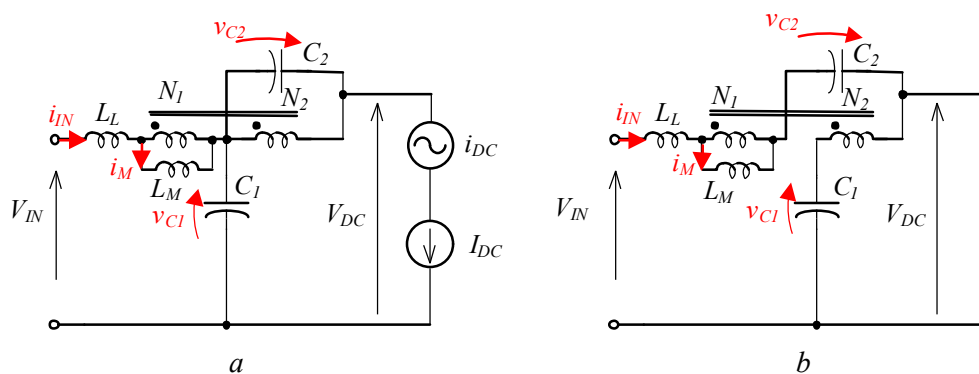


Fig. 2. Equivalent circuits of the proposed topology: a – active states; b – shoot-through states

Output side of the inverter is represented by means of the dc and ac current sources. It models power flow from the input to the grid or load through the dc-link.

It has constant and variable components, which is the characteristic of the single-phase system:

$$i_{DC} = I_{DC} + \tilde{i}_{DC}, \quad \tilde{i}_{DC} = I_{MAX} \sin(m\omega t), \quad (4)$$

where  $I_{DC}$  is a constant component of the load current,  $\tilde{i}_{DC}$  is a variable component,  $I_{MAX}$  is the peak value of the variable component. Both  $I_{DC}$  and  $\tilde{i}_{DC}$  will have influence on the state variables of the system, including  $i_{IN}$ ,  $i_M$ ,  $v_{C1}$ , and  $v_{C2}$ , all of which also consist of two parts: the dc component and the  $m\omega$  component:

$$i_{IN} = I_{IN} + \tilde{i}_{IN}, i_M = I_M + \tilde{i}_M, v_{C1} = V_{C1} + \tilde{v}_{C1}, v_{C2} = V_{C2} + \tilde{v}_{C2}. \quad (5)$$

Finally, time intervals are defined and denoted as:  $T_S$  – ST state time period;  $T_a$  – active state time period. In terms of dc components, the variable components are omitted. The active state time interval can be described by following differential equations:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_L \frac{di_{IN}}{dt} = V_{IN} - v_{C1} + \frac{N_1}{N_2} v_{C2}, \\ L_M \frac{di_M}{dt} = -\frac{N_1}{N_2} v_{C2}, \\ C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = i_{IN} - I_{DC}, \\ C_2 \frac{dv_{C2}}{dt} = -(i_{IN} - i_M) \frac{N_1}{N_2} - I_{DC}. \end{array} \right. \quad (6)$$

In its turn ST state can be described:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_L \frac{di_{IN}}{dt} = V_{IN} + v_{C2} \frac{N_1}{N_2} - v_{C1}, \\ L_M \frac{di_M}{dt} = \frac{N_1}{N_2} v_{C1}, \\ C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = (i_{IN} - i_M) \frac{N_1}{N_2}, \\ C_2 \frac{dv_{C2}}{dt} = -i_{IN}. \end{array} \right. \quad (7)$$

After that, it can be derived the averaged equations that can be represented in matrix form like in equation (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} L_L \frac{d \langle i_{IN} \rangle}{dt} = (1-D) (V_{IN} - v_{C1} + \frac{N_1}{N_2} v_{C2}) + D \cdot (V_{IN} + v_{C2} - \frac{N_1}{N_2} v_{C1}) = 0, \\ L_M \frac{d \langle i_M \rangle}{dt} = (1-D) \cdot \frac{N_1}{N_2} v_{C2} + D \frac{N_1}{N_2} v_{C1} = 0, \\ C_1 \frac{d \langle v_{C1} \rangle}{dt} = (1-D) \cdot (i_{IN} - I_{DC}) + D(i_{IN} i_M) \frac{N_1}{N_2} = 0, \\ C_2 \frac{d \langle v_{C2} \rangle}{dt} = (1-D) \cdot (-i_{IN} - i_M) \cdot \frac{N_1}{N_2} - I_{DC} - D \cdot i_{IN} = 0, \end{array} \right. \quad (8)$$

where the  $D$  – is ST duty cycle.

In terms of variable components, the input dc power supply keeps the voltage constant and it does not contain the  $m\omega$  component.

Let us consider dynamic equations during the active state output voltage generation. The dynamic equations for active state are:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_L \frac{d\tilde{i}_{IN}}{dt} = \frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C2} - \tilde{v}_{C1}, \\ L_L \frac{d\tilde{i}_M}{dt} = -\frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C2}, \\ C_1 \frac{d\tilde{v}_{C1}}{dt} = \tilde{i}_{IN} - i_{DC}, \\ C_2 \frac{d\tilde{v}_{C2}}{dt} = -(\tilde{i}_{IN} - \tilde{i}_M) \frac{N_1}{N_2} - i_{DC}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Finally, during the ST state operation, it can be written as:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_L \frac{d\tilde{i}_{IN}}{dt} = \tilde{v}_{C2} - \frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C1}, \\ L_L \frac{d\tilde{i}_M}{dt} = \frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C1}, \\ C_1 \frac{d\tilde{v}_{C1}}{dt} = (\tilde{i}_{IN} - \tilde{i}_M) \frac{N_1}{N_2}, \\ C_2 \frac{d\tilde{v}_{C2}}{dt} = -\tilde{i}_{IN}. \end{array} \right. \quad (10)$$

As  $\tilde{x}$  is an  $m\omega$  component, the average value of the variables  $\tilde{x}$  over one switch cycle  $T$  is not zero, as a result, it can be expressed as:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_L \frac{d \langle \tilde{i}_{IN} \rangle}{dt} = (1-D) \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C2} - \tilde{v}_{C1} \right) + D \cdot \left( \tilde{v}_{C2} - \frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C1} \right), \\ L_L \frac{d \langle \tilde{i}_M \rangle}{dt} = (1-D) \cdot \frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C2} + D \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} \tilde{v}_{C1} \right), \\ C_1 \frac{d \langle \tilde{v}_{C1} \rangle}{dt} = (1-D) \cdot (\tilde{i}_{IN} - i_{DC}) + D \cdot (\tilde{i}_{IN} - \tilde{i}_M) \cdot \frac{N_1}{N_2}, \\ C_2 \frac{d \langle \tilde{v}_{C2} \rangle}{dt} = (1-D) \cdot (-\tilde{i}_{IN} - \tilde{i}_M) \cdot \frac{N_1}{N_2} - \tilde{i}_{DC} - D \cdot \tilde{i}_{IN}. \end{array} \right. \quad (11)$$

Using Eqs. (11), dependences  $i_{IN}$ ,  $i_M$ ,  $v_{C1}$ ,  $v_{C2} = f(I_{MAX}, D, C, m, \omega, L_M, L_L)$  can be obtained for further low frequency ripple and dynamic analysis.

**Conclusions.** This paper has presented small signal model of the single-phase quasi-Z-source inverter with coupled inductors. State space averaging method is used for small-signal analysis. Small signal model can be used for further stability analysis, controller design in closed loop system, passive components selection and analysis of inductor coupling.

### References

1. *Renewables 2014 Global Status Report*. – Paris: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. – 2014.
2. *Anderson J., Peng F.* Four quasi-Z-Source inverters. / J. Anderson, F. Peng // IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2008). – 2008. – P. 2743–2749.
3. *Yuan L.* Quasi-Z-Source Inverter for Photovoltaic Power Generation Systems. / Li Yuan, J. Anderson, F. Z. Peng, Liu Dichen // 24th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2009). – 2009. – P. 918–924.
4. *Vinnikov D.* New Step-Up DC/DC Converter for Fuel Cell Powered Distributed Generation Systems: Some Design Guidelines / D. Vinnikov, I. Roasto, J. Zakis, R. Strzelecki R. // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review). – 2010. – № 86 (8). – P. 245–252.
5. *Husev O.* Single Phase Three-Level Neutral-Point-Clamped quasi-Z-Source Inverter / O. Husev, C. Roncero-Clemente, E. Romero-Cadaval, D. Vinnikov, S. Stepenko // IET PEL. – 2015. – № 1 (8). – P. 1–10.
6. *Yushan L.* Z-Source/Quasi-Z-Source Inverters: Derived Networks, Modulations, Controls, and Emerging Applications to Photovoltaic Conversion / L. Yushan, H. Abu-Rub, G. Baoming // IEEE Ind. Electron. Magazine. – 2014. – № 4 (8). – P. 32–44.
7. *Siwakoti Y. P.* Town. Impedance Source Networks for Electric Power Conversion Part-I: A Topological Review / Y. P. Siwakoti, F. Z. Peng, F. Blaabjerg, P. C. Loh, G. E. Town // IEEE Trans. Power Electron. – 2015. – № 2 (30). – P. 699–716.
8. *Гусев О.* Визначення параметрів регулятора в системі керування DC/DC перетворювачем з квазі-імпедансною ланкою за умови стійкості для малого сигналу / О. Гусев // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 5. – С. 18–23.
9. *Dongsen S.* Impedance Design of Quasi-Z Source Network to Limit Double Fundamental Frequency Voltage and Current Ripples in Single-Phase Quasi-Z Source Inverter / S. Dongsen, G. Baoming, Y. Xingyu, B. Daqiang, H. Abu-Rub, F.Z. Peng // Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). – 2013. – P. 2745–2750.
10. *Witulski, A. F.* Introduction to modelling of transformers and coupled inductors // IEEE Trans. Power Electron. – 1995. – № 3 (10). – P. 349–357.
11. *Van den Bossche A.* Inductors and Transformers for Power Electronics / A. Van den Bossche, V. C. Valchev // CRC Press Taylor & Francis Group, 2005.

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.33

**О.І. Сиза**, д-р техн. наук

**О.М. Савченко**, канд. техн. наук

**М.С. Коваленко**, студент

**І.О. Тимкова**, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ЙОДОДЕФИЦИТ І РАЦІОНАЛЬНЕ ХАРЧУВАННЯ

**О.И. Сизая**, д-р техн. наук

**О.Н. Савченко**, канд. техн. наук

**М.С. Коваленко**, студент

**И.О. Тымкова**, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ЙОДОДЕФИЦИТ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ

**Olha Sizaya**, Doctor of Technical Sciences

**Olesia Savchenko**, PhD in Technical Sciences

**Maryna Kovalenko**, student

**Iryna Tymkova**, student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### IODINE DEFICIT AND RATIONAL FEED

*Виявлено, що з 300 обстежених мешканців м. Чернігова на йододєфіцит у 80 % не вистачає йоду в організмі, з них у 6,5 % – гостра необхідність прийому йоду. Проведені дослідження харчових продуктів на вміст йоду дозволили розробити необхідні рекомендації щодо раціонального харчування з метою збалансування цього мікроелементу в організмі людини.*

**Ключові слова:** йододєфіцит, продукти харчування, йододєфіцитні захворювання.

*Показано, что из 300 обследованных жителей г. Чернигова на йододєфіцит у 80 % не хватает йода в организме, из них у 6,5 % – острая необходимость приема йода. Проведенные исследования пищевых продуктов на содержание йода позволили разработать необходимые рекомендации для рационального питания с целью сбалансирования данного микроэлемента в организме человека.*

**Ключевые слова:** йододєфіцит, продукты питания, йододєфіцитные заболевания.

*It is shown, that from the 300th inspected habitants of Chernigiv on Iodine deficit at 80 % Iodine is missing in an organism, from them at 6,5% – sharp necessity of reception of Iodine. Conducted researches of food products on maintenance of Iodine, allowed to develop necessary recommendations for the rational feed with the purpose of balance of the given microelement in the organism of people.*

**Key words:** iodine deficit, rational feed, iodine deficiency disorders.

**Постановка проблеми.** У ХХІ столітті в усіх країнах світу відзначено різке збільшення інтересу до здорового харчування. Це пов'язано, насамперед, з тим, що організм сучасної людини, який споживає все більше рафінованих і підданих глибокій переробці продуктів харчування, відчуває серйозний дефіцит вітамінів, макро- і мікроелементів та інших речовин. Виникає ризик хронічних захворювань, знижується функціональна активність імунної системи. Однією з важливих проблем є йододєфіцитні стани, для усунення яких необхідне надходження йоду в організм людини.

На початку третього тисячоліття Всесвітня організація охорони здоров'я поставила проблему йододєфіцитних захворювань як глобальну в один ряд зі збільшенням серцево-судинної та онкологічної патології. В усьому світі уражено близько 200 мільйонів осіб цією хворобою: у 60 млн – збільшена щитовидна залоза (так званий ендемічний зоб), у 40 млн – спостерігається розумова відсталість у результаті йодної недостатності та інші захворювання. Більше ніж для 1,5 мільярдів жителів Землі існує підвищений ризик недостатнього споживання йоду і розвитку захворювань [1].



В організмі здорової людини міститься від 25 до 35 мг йоду, функції якого дуже важливі для нормалізації багатьох процесів: бере участь у біосинтезі гормонів щитовидної залози (до 90 % циркулюючого в крові органічного йоду припадає на частку тироксину); регулює зростання і диференціювання тканин організму на клітинному рівні; відповідає за транспортування гормонів і натрію в організмі; корисно впливає на роботу головного мозку; позитивно впливає на центральну нервову систему; сприяє зміцненню імунітету; запобігає розвитку атеросклерозу. Велика частина цього елемента відповідає за обмін речовин, знаходячись у щитовидній залозі.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останніми роками виявлено зв'язок йоду з захистом організму людини. Через щитовидну залозу проходить весь об'єм циркулюючої в організмі крові протягом 17 хвилин. За ці 17 хвилин йод, що циркулює залозою, вбиває нестійкі мікроби, які потрапляють у кров через пошкодження шкіри, слизову оболонку носа та горла, або під час абсорбції поживних речовин їжі у травному тракті. Стійкі вірулентні мікроби стають слабкішими після кожного проходження через щитовидну залозу, поки остаточно не гинуть за умови нормального забезпечення залози йодом.

З чим же пов'язане таке широке розповсюдження йододефіцитних захворювань? Основна причина полягає в тому, що з їжею і водою людина може не отримувати достатньої кількості йоду, необхідного для нормального функціонування щитовидної залози. Найбільша його кількість сконцентрована у морській воді, повітрі та ґрунті приморських районів. У цілому, чим старіше поверхня ґрунту і чим більше була вона схильна в минулому до різних впливів (ерозії), тим менше в ній йоду. Найбільш збіднені йодом ґрунти у гірських місцевостях, які піддавалися частому випадінню дощів зі стоком води у річки. Йод знаходиться у ґрунті та морській воді у вигляді йодиду. Йодид-йони окиснюються під впливом сонячного світла в легкий ароматичний йод. Щорічно близько 400 тис. тонн йоду випаровується з поверхні моря. Концентрація йодиду в морській воді становить приблизно 50–60 мг/дм<sup>3</sup>, а в повітрі – 0,7 мкг/м<sup>3</sup>. З атмосфери йод повертається до ґрунту з дощовою водою, однак, це відбувається дуже повільно. В результаті, всі рослини, які ростуть на такому ґрунті, мають недостатній вміст йоду, а у людей і тварин, які повністю залежать від вирощеної на цьому ґрунті їжі, розвиваються йододефіцитні захворювання. Вміст йоду в рослинах, які виростили на збіднених йодом ґрунтах, часто не перевищує 10 мкг/кг сухої ваги у порівнянні з 1000 мкг/кг у рослинах, культивованих на ґрунтах без дефіциту йоду. Це обумовлює важку йодну недостатність у значної частини населення, що живе за рахунок натурального або напівнатурального господарства. Останніми роками захворювання щитовидної залози стало найпоширенішою ендокринною патологією і становить 79,4 % від усіх ендокринологічних захворювань.

Добова потреба в йоді невелика – всього 0,1–0,2 мг (табл. 1).

Таблиця 1

*Добова потреба в йоді залежно від віку людини [2]*

Вік	Добова норма йоду, мг
1–3 роки	0,06
4–6 років	0,07–0,08
7–10 років	0,1
11–17 років	0,1–0,13
Від 17 років і старші	0,2

У людини є тільки три джерела йоду – вода, повітря, їжа [3; 4]. Концентрація йоду в місцевій питній воді відображає концентрацію йоду у ґрунті. Зазвичай у йододефіцитних регіонах концентрація йоду у воді становить менше 2 мкг/дм<sup>3</sup>. Специфічними йо-

дистими водами вважають ті, в яких міститься не менше 5 мг/дм<sup>3</sup> Вода, як правило, не є основним джерелом надходження йоду до організму людини, оскільки вміст його у питній воді незначний. Основну кількість цього мікроелементу ми споживаємо з їжею. Вміст йоду в тих самих продуктах значно коливається залежно від рівня йоду в ґрунті і воді.

Рослинні джерела йоду: овочі – салат зелений, буряк, редиска, картопля, помідори, морква, баклажан; фрукти – апельсини, виноград, яблука, груші, абрикоси, хурма, слива; боби – квасоля, горох; ягоди – вишня, агрус, смородина; злаки – пшениця, гречка, пшоно.

Тваринні джерела йоду: морепродукти – креветки, ламінарія; риба – тунець, тріска; молочні продукти – кефір, коров'яче молоко, сметана, вершки, сирий сир; курячі яйця.

Вміст йоду у воді може слугувати показником його рівня у злаках, овочах і фруктах, вирощених у цій місцевості. Крім того, важливим постачальником йоду є молоко. Так, у США у раціон для дорослих з молочними продуктами надходить 58 % йоду, для дітей 2 років – 67 %, для 6-місячних дітей – 80 %. Природа сконцентрувала вміст йоду в молочній залозі і молоці під час лактації. Йодування молочних білків відбувається за амінокислотними залишками тирозину. Цьому сприяє фермент лактопероксидаза, під дією якого й утворюється органічна форма йоду, необхідна для нашого організму.

Встановлена добова норма споживання елемента, переважно, не забезпечується звичайним харчуванням. У зв'язку з цим останнім часом поширення набули йодовані продукти, напої і біологічно активні добавки, а також йодований харчовий натрію хлорид. З іншого боку, надходження надлишку йоду в організм може привести до токсичних ефектів. Тому контроль вмісту цього елемента в продуктах харчування відповідної місцевості проживання є важливим завданням.

**Мета роботи.** Вивчення проблеми дефіциту йоду у мешканців м. Чернігова та визначення його вмісту у продуктах їх харчування; розроблення рекомендацій щодо раціонального харчування та профілактики роботи щитовидної залози.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Було обстежено 300 людей різного віку на йододефіцит. Для цього кожній людині на обидві руки наносили спиртовий 5 %-ний розчин йоду (придбаний у аптеці) у вигляді сітки 2×2 см. Спостерігали впродовж якого часу зникає забарвлення: якщо до 4 годин – гостра необхідність організму у йоді; за 5–10 годин – не вистачає йоду; за 24 години – йод у нормі. У результаті виявлено (рис. 1), що у 80 % обстежених не вистачає йоду в організмі, з них у 6,5 % – гостра необхідність прийому йодовмісних продуктів або препаратів.

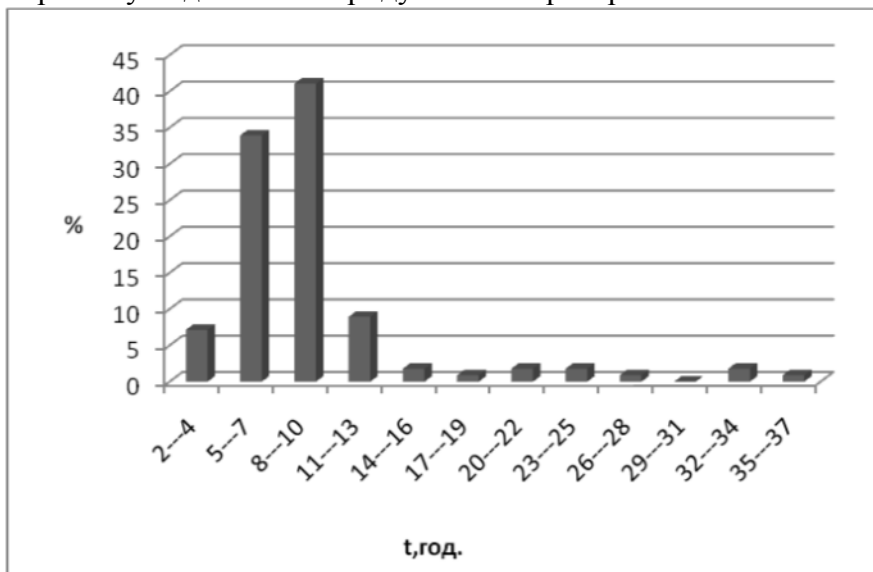


Рис. 1. Результати дослідження на йододефіцит

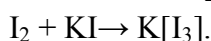
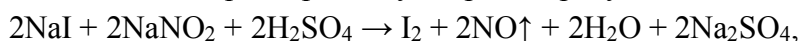
## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Для визначення вмісту йоду у продуктах харчування застосовували два методи: титриметрію та спектрофотометрію [5; 6].

Титриметричний метод визначення йоду в об'єктах навколишнього середовища відрізняється доступністю і простотою, а також високою чутливістю. Метод ґрунтується на утворенні забарвленої комплексної сполуки йоду у кислому середовищі.

Пробу для аналізу (1 г) готують методом лужної мінералізації у муфельній печі за температури 400–450 °С до отримання золи сіро-сталевого відтінку. Суху масу, яка містить увесь йод, змочують невеликою кількістю киплячої дистильованої води і ретельно розтирають до отримання однорідної маси. В отриману масу вносять 10 см<sup>3</sup> 96 %-вого етилового спирту, розтирають 5 хвилин. Прозорий спиртовий екстракт обережно зливають в іншу чашку. Екстракцію повторюють 6 разів. Загальний обсяг усіх спиртових екстрактів – 60 см<sup>3</sup>. Чашку з екстрактами ставлять на слабо киплячу водяну баню. Спирт повинен повільно випаровуватися насухо, при цьому не слід допускати його кипіння [5; 6].

На дні чашки після цього залишається ледь помітний білий наліт, який змивають 60 см<sup>3</sup> дистильованої води, використовуючи скляну паличку, в конічну скляну колбу місткістю 100 см<sup>3</sup>. У розчин додають 10 см<sup>3</sup> хлороформу, 6–7 крапель концентрованої сульфатної кислоти, 3–4 краплі розчину натрію нітриту і 1,6 см<sup>3</sup> залізоамонійних галунів:



Суміш інтенсивно перемішують упродовж 2 хвилин і титрують. Паралельно проводять контрольний дослід: замість дослідженої проби зразка використовують дистильовану воду і такі ж реактиви.

Титрування здійснюють розчином калію йодиду (1 см<sup>3</sup> містить 0,00382 г йоду) до появи рожевого забарвлення. За різницею об'ємів, які витрачено на титрування контрольного та досліджуваного зразків, визначають розрахований об'єм калію йодиду.

Масову частку йоду (X, %) у продуктах розраховують за формулою:

$$X = V \cdot 0,0032 \cdot 100 \cdot 100 / m,$$

де V – об'єм розчину калію йодиду (KI), що витрачено на титрування, см<sup>3</sup>; m – маса зразка, г.

Колориметричні дослідження з визначення йоду здійснювали з використанням фотометра фотоелектричного КФК-3. Пробу для аналізу готують методом лужної мінералізації у муфельній печі за температури 400–450 °С, як описано вище, а потім відповідно до [6].

Оптичну густину пофарбованого хлороформного екстракту йоду вимірюють на фотометрі у кюветах з робочою довжиною 10 мм при довжині хвилі 490 нм проти чистого хлороформу. Паралельно необхідно проводити контрольний дослід з використанням замість фільтрату 60 см<sup>3</sup> дистильованої води. Кількість йоду, яка відповідає певній оптичній густині, визначають за калібрувальним графіком (рис. 2), який нами побудовано за результатами вимірів оптичної густини залежно від зміни концентрації йоду під час додавання стандартного розчину калію йодиду.

Різниця між результатами досліджень титриметричним та колориметричним методами становить до 5 % (табл. 2).

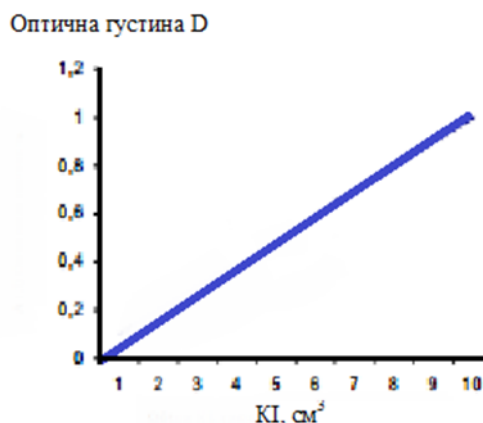


Рис. 2. Калібрувальний графік

*Вміст йоду в харчових продуктах, придбаних у магазинах м. Чернігова*

Продукт	Вміст йоду, мкг на 100 г за титрометричним методом	Вміст йоду, мкг на 100г за колориметричним методом
Морська капуста	1266	1203
Риба нототенія свіжа	315	300
Креветки свіжі	187	178
Печериці	17	16
Печінка яловича	14,5	13,5
Печінка свиняча	11,7	11,1
Молоко коров'яче	12,6	12,7
Яйця курячі	10,4	9,5
Хліб	8,5	8,1
Буряк	5,8	5,5
Морква	4,5	4,25
Картопля	3,8	3,5
Гречка	3,1	2,9

Отримані результати досліджень на вміст йоду у продуктах харчування, придбаних у магазинах м. Чернігова, підтвердили літературні відомості щодо високого вмісту йоду в морських водоростях, у морській рибі та креветках.

Досліджено, що тривале кип'ятіння руйнує більш ніж 50 % від загальної кількості йоду, що міститься у продуктах. Для того, щоб зменшити його втрати, слід щільно закривати кришку під час варіння і наливати мінімальну кількість води. Нами складено і рекомендовано збалансований раціон харчування для обстежених людей, які мають гострий дефіцит йоду в організмі, до якого обов'язково входять продукти моря, курячі яйця, м'яса та рибна печінка та інші (табл. 3). Дієти, до яких входить достатня кількість морських продуктів, можуть заповнити дефіцит йоду в організмі і таким чином стабілізувати роботу щитовидної залози. Але дієта піде на користь тільки у тому випадку, якщо захворювання виявлено на ранніх стадіях.

Таблиця 3

*Приклад меню для лікування щитовидної залози*

Час прийому	1 день		2 день		3 день	
	Продукти	Норма	Продукти	Норма	Продукти	Норма
1	2	3	4	5	6	7
Перший сніданок	Омлет Кава з молоком Печиво нездобне	з 1 яйця 1 стак. 2 шт	Каша гречана з невеликою кількістю вершкового масла Сир Хліб пшеничний свіжий	200 г  50 г 50 г	Суфле із сиру Тости Паштет із оселедця Чай з лимоном	150 г 100 г 30 г 1 стак.
Другий сніданок	Сир із знежиреною сметаною і цукром Хліб пшеничний	150 г 50 г	Свіжі фрукти	200 г	Фруктовий салат	100 г
Обід	Уха з морської риби Тушкована морква і зелений горошок Салат з морської і свіжої біло-качанної капусти Кисіль Хліб житній	200 г 150 г 100 г 300 г 50 г	Суп із м'яса крабів Заливна морська риба з майонезом і відварними овочами Салат із негострого сира та майонезу Компот із свіжих фруктів Слойка	200 г 150 г  100 г 1 стак. 1 шт	Суп з добавкою морської капусти Млинці з паюсною ікрою Салат з відварним буряком та куркою Хліб Морозиво	200 г 100 г 100 г 50 г 50 г

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Полудень	Салат зі свіжих овочів, з морською сіллю	150 г	Сік абрикосовий	1 стак.	Кефір	1 стак.
Вечеря	Відварна картопля Оселедець нежирний, вимочений у молоці Відвар шипшини Хліб житній	150 г 50 г 1 стак. 50 г	Вермішель Тріска відварна зі спеціями Чай з варенням із плодів фейхоа	100 г 100 г 1 стак.	Салат з крабових паличок з відварним рисом і консервованою кукурудзою Гречана каша з мас- лом Чай	100 г  100 г 1 стак.
На ніч	Кефір	1 стак.	Відвар із шипшини з медом	1 стак.	Сік фруктовий	1 стак.

### Рекомендації

1. Щоб визначити чи достатньо в організмі йоду, рекомендовано провести простий і ефективний експрес-тест: умочити паличку з ватою на кінці у 5%-вий розчин йоду, намалювати сіточку на внутрішній стороні передпліччя і почекати 2 години. Жовті лінії зникли без сліду? Сумнівів немає – організму не вистачає йоду.

2. Запропоновано меню для нормальної роботи щитовидної залози (табл. 3). Щоденне споживання морської риби, морепродуктів і йодованої солі забезпечить добову норму йоду.

3. Можна активізувати роботу щитовидної залози і за допомогою масажу шийних м'язів з боку спини. (Треба пам'ятати, що розминати шкіру, яка покриває залозу, і взагалі робити масаж передньої поверхні шиї, не можна ні в якому разі! Механічний вплив на щитовидну залозу іноді провокує ріст пухлини і підсилює гормональні порушення).

Масаж шийних м'язів з боку спини дуже корисний, оскільки допомагає розслабитися, знімає прояви стресу. Для щитовидної залози стан стресу дуже шкідливий, він викликає ендокринний дисбаланс. Крім того, напружені шийні м'язи здавлюють судини і порушують кровообіг важливого органу, а м'язовий спазм сприяє розвитку остеохондрозу, від якого страждають корінці шийних нервів, що обслуговують щитовидну залозу.

4. Поліпшити роботу щитовидної залози допоможе і масаж стоп. Для цього необхідно ретельно розім'яти зону біля основи великого пальця зі сторони стопи спочатку справа, потім зліва. Почати з легкого розтирання і поступово підсилювати натиск. Якщо робити масаж впродовж 5 хвилин кожен день, поліпшення відчувається до кінця другого тижня.

5. Людям, які проживають у регіоні, який бідний йодом, потрібно проводити відпустку в атмосфері, що містить йод. Найкраще – ближче до моря.

**Висновки.** Виявлено, що з 300 обстежених мешканців м. Чернігова у 80 % не вистачає йоду в організмі, з них у 6,5 % – гостра необхідність прийому йоду.

Двома незалежними методами досліджено вміст йоду у продуктах і з'ясовано, що морська риба і морепродукти, придбані у магазинах м. Чернігова, мають високий вміст йоду, а картопля, морква, гречка, вирощені у цій місцевості, мають найменший вміст йоду (2,9–5,5 мкг на 100 г) серед досліджених продуктів.

Як профілактичний засіб для підтримки роботи щитовидної залози запропоновано збалансований раціон харчування та рекомендації щодо засобів контролю вмісту йоду в організмі та методів активізації роботи щитовидної залози.

### Список використаних джерел

1. *Рекомендації щодо запобігання та профілактики йододефіцитних захворювань* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.moz.gov.ua/ua/portal/pre\\_20120426\\_1.html](http://www.moz.gov.ua/ua/portal/pre_20120426_1.html).

2. *Сухонина С. Ю.* Йод и его значение в питании человека / С. Ю. Сухонина, Г. И. Бондарев, В. М. Позняковский // *Вопросы питания.* – 1995. – № 3. – 12 с.

3. *Химическая энциклопедия* : в 5 т. Т. 2. – М. : Советская энциклопедия, 1990. – 562 с.
4. *За щитом щитовидки* / Г. А. Герасимов [и др.] // Не болей. – 2000. – Вып. 12. – С. 38–53.
5. *Определение массовой доли йода в пищевых продуктах и сырье титриметрическим методом* : методические указания МУК 4.1.1106-02. – М. : Изд. МЗ РФ, 2002. – 16 с.
6. ТУУ 23522451-004. Метод визначення йодид-іону у водорості спіруліні.

УДК 620.197.3

**В.І. Воробйова**, канд. техн. наук  
**О.Е. Чигиринець**, д-р техн. наук  
**В.Г. Єфімова**, канд. техн. наук  
**Т.М. Пилипенко**, канд. техн. наук  
**І.М. Трус**, канд. техн. наук  
 НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

### ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ЕКСТРАКТІВ ШИШОК ХМЕЛЮ АРОМАТИЧНОГО І ГІРЬКОГО СОРТІВ

**В.И. Воробьева**, канд. техн. наук  
**Е.Э. Чигиринец**, д-р техн. наук  
**В.Г. Ефимова**, канд. техн. наук  
**Т.М. Пилипенко**, канд. техн. наук  
**И.Н. Трус**, канд. техн. наук  
 НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭКСТРАКТОВ ШИШЕК ХМЕЛЯ АРОМАТИЧЕСКОГО И ГОРЬКОГО СОРТОВ

**Viktoriia Vorobiova**, PhD in Technical Sciences  
**Olena Chyhyrynets**, Doctor of Technical Sciences  
**Veronika Yefimova**, PhD in Technical Sciences  
**Tetiana Pylypenko**, PhD in Technical Sciences  
**Inna Trus**, PhD in Technical Sciences  
 NTUU "KPI", Kyiv, Ukraine

### COMPARATIVE EVALUATION OF THE COMPOSITION OF HOP CONES EXTRACT OF AROMATIC AND BITTER VARIETIES

*Методом газової хромато-мас-спектрометрії визначено компонентний склад ізопропанольного екстракту шишок хмелю ароматичного та гіркого сортів. Встановлено, що в екстракті сорту хмелю «Ароматичний» преважують поліфенольні сполуки (кемпферол, кверцетин, тимол, карвакрол, ванілін), карбонові та фенолкарбонові кислоти, а в екстракті гіркого сорту –  $\alpha$ - та  $\beta$ -кислоти й терпенові сполуки. Зроблено висновок про можливість використання екстракту для створення продукції з високою біологічною цінністю.*

**Ключові слова:** шишки хмелю, ізопропанольний екстракт, хромато-мас-спектрометрія, леткі сполуки.

*Методом газовой хромато-масс-спектрометрии определен компонентный состав изопропанольного экстракта шишек хмеля ароматического и горького сортов. Установлено, что в экстракте сорта хмеля «Ароматический» преобладают полифенольные соединения (кемпферол, кверцетин, тимол, карвакрол, ванилин), карбоновые и фенол-карбоновые кислоты, а в экстракте горького сорта –  $\alpha$ - и  $\beta$ -кислоты и терпеновые соединения. Сделан вывод о возможности использования экстракта для создания продукции с высокой биологической ценностью.*

**Ключевые слова:** шишки хмеля, изопропанольный экстракт, хромато-масс-спектрометрия, летучие соединения.

*By gas chromatography-mass spectrometry determined component composition isopropanol extract of hops aromatic and bitter varieties. It is found that the extract of hops "Aromatic" prevail polyphenolic compounds (kaempferol, quercetin, thymol, carvacrol, vanillin), and phenol-carboxylic acid, and the extract of bitter varieties –  $\alpha$  and  $\beta$  – acids and terpene compounds. The conclusion about the possibility of using the extract to create products with high biological value.*

**Key words:** hop cones, 2-propanol extract, gas chromatography-mass spectrometry, volatile compounds.

**Вступ.** Останнім часом у рецептурах косметичних композицій широко використовують різноманітні біологічно активні добавки (БАД). Як БАД використовують вітаміни, ферменти, фосфоровмісні речовини та інші. Однак рослинна сировина, як і раніше, посідає значне місце у парфумерній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях про-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

мисловості і залишається одним з найважливіших джерел для отримання БАД. Екстракти рослин становлять значний інтерес завдяки їх дешевизні, доступності, широкому спектру корисних компонентів, що в ній міститься, та високій ефективності дії. Виходячи з цього, актуальним питанням є вивчення нових перспективних видів рослинної сировини з достатньою сировинною базою для отримання БАД. До таких видів належать рослини роду хмелю. Хміль звичайний – *Humulus lupulus L.*, родини конопцеві – *Cannabaceae*, природно розповсюджений на території України у дикому вигляді та широко культивується [1].

На сьогодні в нашій країні вирощується 14 селекційних сортів хмелю ароматичного і гіркого типів, що відрізняються за своїм хімічним складом, головним чином, кількістю і складом гірких речовин, а, як наслідок, і вмістом ефірної олії та фенольних сполук [2].

Залежно від генотипу хмелю та складу гірких речовин усі селекційні сорти хмелю поділяються на тонко ароматичні, ароматичні та гіркі. Кількість ефірної олії при цьому також варіюється від 0,005 до 4,2 %. Гіркі речовини у шишках хмелю є сумішшю кислот і смоляних речовин, які ще мають назву «загальні смоли». Залежно від сорту хмелю в них може міститись від 5 до 52 % загальних смол. Саме за рахунок вмісту значної кількості різних класів біологічно активних речовин, таких як флавоноїди, гідроксикоричні кислоти, дубильні речовини, органічні кислоти, вітаміни шишки хмелю використовуються у парфумерній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості.

Тому метою цієї роботи стало проведення порівняльного оцінювання компонентного складу БАД спиртового екстракту шишок хмелю ароматичного і гіркого типу.

**Методика експерименту.** Компонентний склад летких речовин екстрактів вивчали методом хромато-мас-спектрометрії на газовому хроматографі “FINIGAN FOCUS” з капілярною колонкою HP-5MS довжиною 30 m та діаметром 0,25 mm за таких умов: температура інжектора +250 °C; детектора +280 °C; товщина фази 0,25 μm; газ-носії – гелій; потік газоносія 1,5 ml/min; температурний режим хроматографування (програма): початкова температура колонки 100 °C, швидкість її нагріву (градієнт температури) 10 °C/min до 280 °C; діапазон мас 30...500 а.о.м; вводили пробу з поділом потоку (Split; Split Flow) 15 ml/min; об’єм проби 2 μl. Ідентифікували компоненти, зіставляючи час утримування піків на хроматограмі і повних мас-спектрів окремих компонентів з відповідними результатами для чистих сполук у бібліотеці мас-спектрів “NIST-5”. Відносний кількісний вміст хімічних компонентів екстракту розраховували методом внутрішньої нормалізації площ піків без коригувальних коефіцієнтів чутливості.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Під час дослідження компонентного складу ізопропанольного екстракту шишок хмелю сорту «Ароматичний» в індивідуальному стані виділено та ідентифіковано близько 40 сполук (рис. 1, табл. 1), серед яких домінують фенольні сполуки, представлені флавоноїдами, а саме кемпферол (1,1 %) та кверцетин (2,5 %), тимол (12,3 %); карвакрол (3,7 %), ванілін (7,0 %); карбонові та фенолкарбонові кислоти: масляна (1,3 %), валер’янова (4,7 %), лінолева (0,3 %), олеїнова (3,1 %). Також в екстракті шишок хмелю наявні в значній кількості терпеноїди та терпени: ментол (7,4 %), лімонен (5,0 %), гераніол (5,5 %), гумулен (0,4 %), каріофілен (0,4 %), β та γ-ситостерол (2,4 %), фарнезен (0,3 %), цедрен (0,2 %), α-терпінен; сапоніни та тритерпенові сапоніни: лупеол (0,2 %) та d – глюкоза (2,4 %), α та β – амірин (3,5 %); кетони: ундекан-2-он (2,0 %), 3-гідроксиметил (0,5 %), 2-гексанол, 2,3-диметил (6,4 %), 2-тридеканон (2,4 %), спирти (гераніол, 1-докосанол).

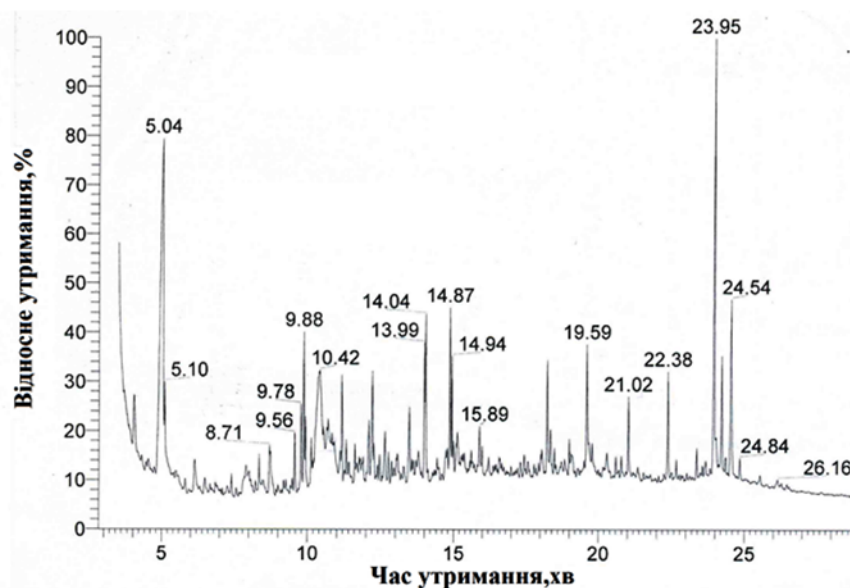


Рис. 1. Хроматограма ізопропанольного екстракту шишок хмелю сорту «Ароматичний»

Таблиця 1

Компонентний склад та відносна кількість летких сполук ізопропанольного екстракту шишок хмелю сорту «Ароматичний» за результатами газової хромато-мас-спектрометрії

Компоненти	Час утримання, t, хв	Відносна кількість, %
1	2	3
Ундекан-2-он	4,17	2,0
2-гексанол, 2,3-диметил	5,04	6,4
фурфурол	5,10	2,1
гумулен	6,14	0,5
3-гідроксиметил	6,48	0,5
олеамід	7,90	0,4
цедрен	8,23	0,1
2-тридеканон	8,62	2,4
валер'янова кислота	8,71	4,7
фарнезен	8,85	0,3
каріофілен	9,56	0,4
карвакрол	9,78	3,7
тимол	9,88	12,3
ванілін	10,11	7,0
ментол	10,24	7,4
масляна кислота	10,31	1,3
бузковий альдегід	10,42	5,5
d-маноза	10,56	2,5
лімонен	11,17	5,0
кумарин	11,24	6,7
гераніол	11,54	5,5
кверцетин	12,21	2,5
фітол	12,64	1,0
A-герпінен	12,87	1,5
ледол	13,99	3,7
d-глюкоза	14,04	2,4
олеїнова кислота	14,87	3,1



Закінчення табл. 1

1	2	3
кемпферол	14,94	1,3
лінолева кислота	15,59	0,3
фенретинід	18,36	1,0
1-докосанол	19,04	0,3
лупеол	19,59	0,2
кампестерол	22,38	1,1
γ-ситостерол	23,95	2,1
β-амірин	24,22	1,5
α-амірин	24,54	2,0
гумулон	24,55	0,4
β-ситостерол	24,84	0,3

Під час дослідження компонентного складу екстракту шишок хмелю сорту «Гіркий» порівняно з екстрактом ароматичного сорту хмелю в індивідуальному стані виділено дещо менша кількість сполук. Ідентифіковано близько 30 сполук (рис. 2, табл. 2), серед яких домінують саме гіркі речовини, представлені α та β – кислотами. Слід зазначити, що у екстракті переважають сесквітерпеноїди: гумулен (4,0%), каріофілен (4,0%), які і обумовлюють біологічну активність ефірної олії, що міститься в отриманому екстракті. Серед моноциклічних монотерпеноїдів визначені феландренепокси, а саме α-терпінеол (3,2%). У значних кількостях містяться ациклічні монотерпеноїди – нерол (6,7%) та ліналоол (6,3%). В отриманому екстракті не ідентифіковано фарнезен, що підтверджує належність досліджуваного сорту до гіркого типу хмелю. Порівняно з екстрактом ароматичного сорту хмелю в ньому міститься значно менша кількість флавоноїдів, а саме кемпферолу, тимолу, карвакролу та карбонових кислоти – олеїнової (2,4%) і лінолевої (6,1%).

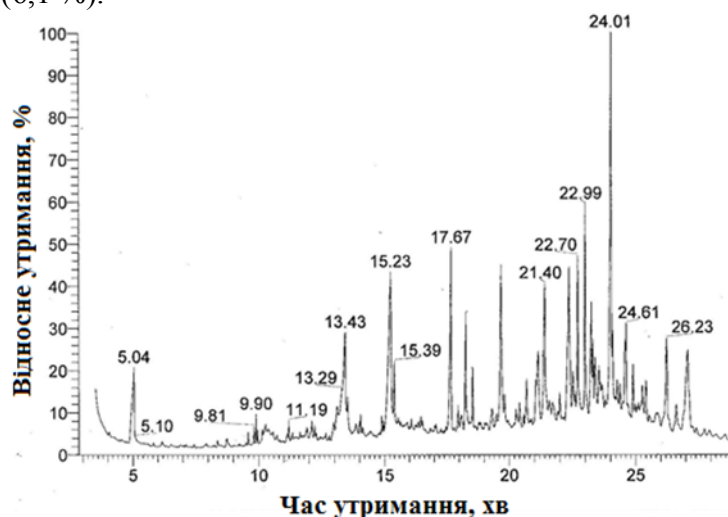


Рис. 2. Хроматограма ізопропанольного екстракту шишок хмелю сорту «Гіркий»

Таблиця 2

Компонентний склад та відносна кількість летких сполук ізопропанольного екстракту шишок хмелю за результатами газової хромато-мас-спектрометрії

Компоненти	Час утримання, t, хв	Відносна кількість, %
1	2	3
2-метил-2-бутанол	5,04	2,5
фурфурол	5,10	1,2
гумулон	9,01	0,6

1	2	3
карвакрол	9,81	1,1
тимол	9,90	1,3
транс-ліналоолоксид	10,12	0,24
цис-ліналоолоксид	10,24	0,06
мірцен	10,26	2,4
лімонен	11,19	1,1
кумарин	13,29	5,1
герніарин	13,43	9,9
кемпферол	14,01	0,5
олеїнова кислота	14,87	2,4
лінолева кислота	15,23	6,1
$\alpha$ -терпеніол	15,39	3,2
нерол	17,67	6,7
карвон	19,87	4,0
ліналоол	18,01	6,3
цитранеол	18,24	6,2
каріофілен	19,69	4,0
гумулен	20,30	4,0
ксантогумол	21,40	5,9
A-амірин	22,70	8,5
кампестерол	22,99	6,1
каріофіленоксид	23,45	0,9
ситостерол	24,01	1,9
$\beta$ -амірин	24,22	1,4
$\alpha$ -амірин	24,54	2,3
гумулон	24,61	3,1
$\beta$ -ситостерол	26,23	1,0
Всього		100

Таким чином, екстракт сорту хмелю ароматичного порівняно з гірким містить збільшену кількість поліфенольних сполук та зменшену кількість твердих смол,  $\alpha$ - та  $\beta$ -кислот і компонентів, що є складовою ефірної олії.

Ідентифіковані сполуки в екстрактах гіркого й ароматичного сортів хмелю широко використовуються для створення косметичної продукції. Так, встановлений карвакрол має виражені антибактеріальні та протигрибкові властивості, транс- та цис-ліналоолоксида, що знайдені лише в екстракті хмелю гіркого сорту, які використовуються у парфумерії [3]. Терпеновий вуглеводень каріофілен є незамінним компонентом для виготовлення парфумів, мила та інших косметичних засобів. Ліналоол – це спирт, який відноситься до терпеноїдів, має запах конвалії, використовують для створення парфумерних композицій, ароматизації мила та миючих засобів. Антимікробними властивостями характеризується монотерпеновий спирт  $\alpha$  – терпінеол. Він також є компонентом харчових есенцій, має запах бузку. Тимол – монотерпеновий фенол, який має антигельмінтні та антисептичні властивості й використовується у фармації. Високий вміст карвону, що відноситься до монотерпенового кетону, має протигрибкову активність. Більш слабо виражену антимікробну активність, поряд з приємним запахом, має лімонен. Більше того, деякі дослідники вважають, що антиоксидантні властивості екстракту хмелю обумовлені вмістом саме монотерпеноїдів – лімонену і карвону.

Отже, можна зробити висновок, що спиртові екстракти шишок хмелю ароматичного й гіркого типу містять широкий спектр органічних сполук і можуть використовуватись для створення різноманітних видів продукції з високою біологічною цінністю.

**Висновки**

1. Методом хромато-мас-спектрометрії досліджено якісний та кількісний склад біологічно активних сполук селекційних сортів шишок хмелю ароматичного та гіркого типу («Ароматичний» і «Гіркий»).

2. Встановлено, що в екстракті ароматичного сорту хмелю превалюють поліфенольні сполуки, а в екстракті гіркого сорту –  $\alpha$ - та  $\beta$ -кислоти та терпенові сполуки.

3. Вияснено, що основними і цінними леткими компонентами гіркого і ароматичного сорту хмелю є карвон і лімонен. Проведені дослідження підтверджують можливість використання етанольного екстракту шишок хмелю для створення продукції з високою біологічною цінністю.

**Список використаних джерел**

1. *Rosendal I.* Hops and hop products terminology / I. Rosendal // Am. Society of Brewing chemists. – 1985. – P. 46–47.

2. *Ляшенко Н. И.* Биохимия хмеля и хмелепродуктов : монография / Н. И. Ляшенко. – Житомир : Полесье, 2002. – 388 с.

3. *Abdenour Ait-Ouazzoua* Evaluation of the chemical composition and antimicrobial activity of Mentha pulegium, Juniperus phoenicea, and Cyperus longus essential oils from Morocco / Ait-Ouazzoua Abdenou, Susana Lorána, Abdelhay Arakrakh, Amin Laglaouib, Carmen Rotaa, Antonio Herreraa, Rafael Pagána, Pilar Conchelloa // Food Research International. – 2012. – Vol. 45, Is. 1. – P. 313–319.

4. *Lina P Roldán* Composition and antibacterial activity of essential oils obtained from plants of the Lamiaceae family against pathogenic and beneficial bacteria / Lina P Roldán Gonzalo J Diaz, Jennifer M Durringer // Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. – 2012. – Vol. 23. – P. 451–461.

УДК 620.197.3

**В.І. Воробйова**, канд. техн. наук

**О.Е. Чигиринець**, д-р техн. наук  
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

**М.І. Скиба**, канд. техн. наук  
ДВНЗ «УДХТУ», м. Дніпропетровськ, Україна

**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ЕКСТРАКТУ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ВИНОГРАДУ**

**В.И. Воробьева**, канд. техн. наук

**Е.Э. Чигиринец**, д-р техн. наук  
НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина

**М.И. Скиба**, канд. техн. наук  
ГВНЗ «УДХТУ», г. Днепропетровск, Украина

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АДСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ОГРАНИЧЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭКСТРАКТА ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВИНОГРАДА**

**Viktoriia Vorobiova**, PhD in Technical Sciences

**Olena Chyhyrynets**, Doctor of Technical Sciences

National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute», Kyiv, Ukraine

**Marharyta Skyba**, PhD in Technical Sciences

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipropetrovsk, Ukraine

**THEORETICAL RESEARCH OF ADSORPTION OF ORGANIC COMPOUNDS OF THE EXTRACT OF PROCESSING GRAPES WASTE**

Методом газової хромато-мас-спектрометрії визначено компонентний склад летких фракцій ізопропанольного екстракту грон винограду (*Vitis*). Встановлено, що їх основними інгредієнтами є альдегіди та терпенові сполуки. На основі квантово-хімічних розрахунків проведено прогностичне оцінювання адсорбційної здатності основних компонентів екстракту: бензойного, коричневого та бузкового альдегідів та терпенових сполук – неролу та ліналоолу. За допомогою

програми HyperChem7.00 розраховано електронні параметри: енергія вищої зайнятої вакантної орбітали ( $E_{\text{ВЗМО}}$ ), енергія нижчої вакантної молекулярної орбітали ( $E_{\text{НВМО}}$ ), енергія щілини ( $\Delta\epsilon$ ) та ін. Виявлено, що всі досліджувані молекули мають здатність бути донорами електронів при адсорбції на поверхні заліза, мають низькі значення енергії щілини та електронегативності, що вказує на їх високу реакційну здатність. З'ясовано, що всі досліджувані сполуки мають високі нуклеофільні властивості за рахунок низького значення індексу електрофільності.

**Ключові слова:** екстракт грон винограду, альдегіди, терпенові сполуки, квантово-хімічні розрахунки.

Методом газової хромато-мас-спектрометрії дослідован компонентний состав летучих фракцій ізопропанольного екстракта гроздей винограда (*Vitis*). Установлено, що их основными компонентами являются альдегиды и терпеновые соединения. На основе квантово-химических расчетов проведена прогнозная оценка адсорбционной способности основных компонентов экстракта: бензойного, коричного и сиреневого альдегидов и терпеновых соединений – нерол и линалоол. С помощью программы HyperChem7.00 рассчитаны электронные параметры: энергия высшей занятой вакантной орбитали ( $E_{\text{ВЗМО}}$ ), энергия нижней вакантной молекулярной орбитали ( $E_{\text{НВМО}}$ ), энергия щели ( $\Delta\epsilon$ ) и др. Вывявлено, что все исследуемые молекулы обладают способностью выступать в качестве донора электронов при адсорбции на поверхности железа, имеют низкое значение энергии щели и электроотрицательности, что указывает на высокую реакционную способность. Выяснено, что все исследуемые соединения обладают высокими нуклеофильными свойствами за счет низкого значения индекса электрофилности.

**Ключевые слова:** экстракт гроздей винограда, альдегиды, терпеновые соединения, квантово-химические расчеты.

By gas chromatography-mass spectrometry was investigated component composition of the volatile fractions isopropanol extract grapes (*Vitis*). It has been established that their major components are aldehydes and terpene compounds. On the basis of quantum chemical calculations carried predictive estimate the adsorption capacity of the major components of the extract: benzoic, cinnamic aldehyde and lavender and terpene compounds - nerol and linalool. The electronic parameters calculated include:  $E_{\text{HOMO}}$ ,  $E_{\text{LUMO}}$ , energy gap ( $\Delta\epsilon$ ) etc.. The calculated results show that all the molecules have high propensity as electron donors, have low energy gap and electronegativity (high reactivity), are good nucleophiles characterized by low values of global electrophilicity index.

**Key words:** extract clusters of the vine, aldehydes, terpene compounds, quantum-chemical calculations.

**Вступ.** На сьогодні особливе місце серед інгібіторів атмосферної корозії посідають легкі інгібітори (ЛІАК). Незважаючи на великий перелік легких інгібіторів, проблема їх розроблення залишається актуальною у зв'язку зі зростаючими вимогами до захисної здатності реагентів та підвищенням екологічних вимог. Саме тому актуальним є пошук легких інгібіторів атмосферної корозії на основі органічних сполук рослинної сировини або відходів її переробки [1; 2]. Джерелом протикорозійно активних органічних сполук для створення ЛІАК можуть слугувати відходи переробки плодово-ягідних культур, а саме відходи переробки винограду. Після використання цієї ягідної культури поблизу переробних підприємств накопичується велика кількість відходів – насіння, жом і грона винограду, що здебільшого використовується як корм для худоби або вивозиться на поля як добриво. Так, авторами [3] було встановлено, що ізопропанольний екстракт грон винограду може використовуватися як легкий інгібітор атмосферної корозії сталі і забезпечує ефективний протикорозійний захист в умовах періодичної конденсації вологи (ступінь захисту 78 %) [3]. У науково-технічній літературі відсутня інформація щодо компонентного складу екстрактивної частини грон винограду (*Vitis*). Водночас для більш повного дослідження механізму протикорозійної дії ізопропанольного екстракту грон винограду, як легкого інгібітору корозії, важливим є встановлення хімічного складу його екстрактивної частини, а також визначення компонентів рослинного екстракту, які роблять основний внесок в інгібуючу дію.

Тому метою роботи стало дослідження компонентного складу легких сполук ізопропанольного екстракту грон винограду та визначення компонентів рослинного екстракту, що забезпечують ефективний протикорозійний захист за різними індексами реакційної здатності, отриманих на основі квантово-хімічних розрахунків.

**Методика експерименту.** Для екстрагування хімічно активних речовин з рослинної сировини використали ізопропіловий спирт (співвідношення 1 г сухої маси на 10 мл розчинника). Компонентний склад легких речовин екстракту шроту грон винограду досліджували методом хромато-мас-спектрометрії на газовому хроматографі «FINIGAN FOCUS» як детектор з газовим хроматографом. Умови хроматографування були такими: капілярна колонка HP-5MS,  $l = 30\text{ м}$ ,  $d = 0,25\text{ мм}$ ; температура інжектора –  $+250\text{ }^\circ\text{C}$ ; температура детектора –  $+280\text{ }^\circ\text{C}$ ; товщина фази –  $0,25\text{ мкм}$ ; газ носій – гелій; потік га-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

зосія – 1,5 мл/хв; програма: 100 °C (2) → 10 °C / хв → 280 °C (10); діапазон мас: 30–500 дальтон; Split; Split Flow – 15 мл/хв; об'єм проби – 2 мкл.

Для квантово-хімічних розрахунків (КХР) використовували метод молекулярної механіки ММ+ і напівемпіричний метод МР3 при повній оптимізації геометрії молекул. За розрахованими електронними зарядами на атомах молекул визначали їх здатність до хімічної взаємодії, а за хвильовою функцією вищої зайнятої молекулярної орбіталі (Е ВЗМО) та нижчої вільної молекулярної орбіталі встановлювали (Е НВМО) найбільш вірогідні адсорбційні центри та енергію щільності  $\Delta E$ . Згідно з теорією *Koopman's* [4] значення енергії ВЗМО та НВМО пов'язані з потенціалом іонізації ( $I$ ) та ядерною подібністю до електронів ( $A$ ) таким співвідношенням:  $A = -E_{\text{НВМО}}$ ,  $I = -E_{\text{ВЗМО}}$  [5]. Відповідно до теорії функціональної щільності основними параметрами, що характеризують здатність молекул до хімічної взаємодії, є абсолютна електронегативність ( $\chi$ ) та хімічний потенціал ( $\mu$ ). Абсолютну електронегативність ( $\chi$ ) та жорсткість ( $\eta$ ) розраховували за такими формулами:

$$\chi = -\mu = \frac{1}{2}(I + A), \quad (1)$$

$$\eta = \frac{1}{2}(I - A). \quad (2)$$

Індекс абсолютної електрофільності ( $\omega$ ), який був введений *Parr* та ін. [5], розраховували за такою формулою:

$$\omega = \frac{(I + A)^2}{8(I - A)}. \quad (3)$$

Під час опису кислотно-основної взаємодії за формулами (4), (5), запропонованими в [5–7], розрахована сила взаємодії ( $\Delta N$ ) молекул з поверхнею  $\alpha$ -Fe та зміна енергії ( $\Delta E$ ):

$$\Delta N = \frac{\mu_B - \mu_A}{2(\eta_A + \eta_B)} = \frac{\Phi - \chi_{\text{мол}}}{2\eta_{\text{мол}}}, \quad (4)$$

$$\Delta E = \frac{(\mu_B - \mu_A)^2}{2(\eta_A - \eta_B)} = \frac{(\Phi - \chi_{\text{мол}})^2}{4\eta_{\text{мол}}}, \quad (5)$$

де  $\chi = -\mu$  – абсолютна електронегативність, еВ;

$\eta$  – абсолютна жорсткість, еВ;

$A$  – характеристики молекули досліджуваної речовини;

$B$  – характеристики елементарної решітки поверхні заліза.

Згідно з роботою авторів за абсолютну електронегативність поверхні заліза теоретично можна прийняти  $\mu_{\text{Fe}} \approx 4,82$  еВ [5], а абсолютну жорсткість –  $\eta_{\text{Fe}} = 0$  еВ.

Також розрахована абсолютна м'якість молекул ( $S$ ) за формулою (4):

$$S = \frac{1}{\eta}. \quad (6)$$

**Результати досліджень та їх обговорення.** Під час дослідження компонентного складу легкої фракції ізопропанольного екстракту грон винограду методом хромато-мас-спектрометрії встановлено близько 22 сполук, серед яких домінують альдегіди: бузковий альдегід (5,9%), коричний альдегід (5,8%), бензойний альдегід (2,6%), 2-гексаналь (2,4%), Е-цитраль (1,9%), а також терпенові сполуки: линалоол (14,1%), гераніол (9,9%), карвакрол (8,9%), камфен (1,4%) і нерол (15,9%). У мінімальній кількості міститься 1% складних ефірів і гетероциклічних сполук.

Аналіз складу показав, що більшість перерахованих індивідуальних органічних сполук, що входять до складу парової фази екстракту грон винограду, відомі як легкі інгібітори корозії або є одними із компонентів їх композицій. За результатами попередніх досліджень [3] можна прогнозувати, що інгібуюча ефективність ізопропанольного екстракту грон винограду обумовлена наявністю широкого спектра сполук класу альдегідів і терпеноїдів. Однак залишається невідомим, які саме із сполук, що входять до складу парової фази екстракту, роблять найбільший внесок у його інгібуючу ефективність. Тому в роботі методом квантово-хімічних розрахунків досліджені адсорбційна здатність та сила взаємодії основних компонентів досліджуваного екстракту з поверхнею заліза згідно з теорією КХР. Визначено величини зарядів на основних реакційних центрах (Nureg Chem 7.0, метод MM+, PM3). Досліджено молекулярні структури альдегідів – бузковий альдегід, коричний альдегід, бензойний альдегід; та терпенові сполуки – ліналоол, нерол.

Згідно з літературними даними [6] адсорбція органічних речовин відбувається на частково заповнену d-орбіталь Феруму реакційними центрами молекул. При подібному механізмі адсорбції електронна взаємодія, здебільшого, має донорно-акцепторний характер, у результаті чого на поверхні утворюються хімічні комплекси органічних речовин з металом. У реакції донора електронів з акцептором електронів відбуваються парні взаємодії між усіма орбіталями донора та акцептора, які підходять один до одного по симетрії. Але головний внесок у загальну енергію робить взаємодія між граничними орбіталями, а саме ВЗМО донора (основи) та НВМО акцептора (кислоти). Під час якісного опису кислотно-основної взаємодії необхідно розглядати величини ВЗМО донора та НВМО акцептора. До того ж відомо, що при адсорбції поверхня металу виступає як електрофіль, у той час як інгібітор діє як нуклеофіль. На основі розрахунків електронних зарядів можна прогнозувати, що взаємодія з поверхнею металу буде відбуватися за атомами, де сконцентрована найбільша електронна густина, оскільки на них розташовані найбільш електронегативні заряди. Внаслідок цього саме ці атоми володіють надлишковим зарядом, тобто мають неподілену електронну пару та можуть виступати як нуклеофільний агент. Загальновідомо, що чим більш негативний заряд на гетероатомі, тим краще відбувається передача електронів від донора.

Отже, взаємодія з поверхнею металу, вірогідно, буде відбуватися: для бузкового альдегіду – за атомами кисню O10, O11 та O13; для коричневого альдегіду – за атомом кисню O5 та C=C зв'язку; для бензойного альдегіду – за атомом кисню O1. Для всіх досліджуваних альдегідів також можлива взаємодія за рахунок подвійного зв'язку C=C бензольного кільця. Для неролу та ліналоолу взаємодія більш вірогідна за атомами кисню гідроксильної групи O25 та O15 відповідно (рис. 1, 2).

Хвильова функція ВЗМО для бузкового альдегіду здебільшого розташована на атомах ароматичного ядра й атомах кисню, що обмежує кількість реакційних центрів до двох атомів кисню O11, O13 та чотирьох атомів вуглецю C5, C8, C6, C7. До того ж саме ці атоми є найкращими місцями для нуклеофільної атаки. Для коричневого альдегіду хвильова функція (рис. 2) розташована на атомах бензольного кільця, C=C зв'язку й атомах кисню, отже, реакційними центрами більш вірогідно виступають атоми O5, C14, C7, C9, C10, C12. Для бензойного альдегіду хвильова функція в основному розміщена саме на атомах вуглецю бензольного кільця C5, C8, C7, C6 (рис. 1, 2). Тому найвірогідніше адсорбція буде відбуватись саме через ці атоми. Що стосується терпенових сполук, то розраховані параметри свідчать, що для ліналоолу розміщення хвильової функції збігається з негативним значенням заряду на атомі кисню, що підвищує адсорбційну здатність молекули. Хвильова функція для неролу розміщена на атомах C=C зв'язку, що вказує на переважну адсорбцію саме за цими атомами.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Значення енергії ВЗМО зазвичай пов'язують зі здатністю молекули віддавати електрон (тобто бути донором електронів), у той час як енергія НВМО вказує на здібності молекули приймати електрон. Оскільки вірогідною є взаємодія за донорно-акцепторним механізмом, то відповідно до [5–7] більш високе значення енергії ВЗМО молекули інгібітору свідчить про його підвищені адсорбційні властивості (за рахунок впливу на процес перенесення заряду через адсорбційний шар) і інгібуючу ефективність. З аналізу отриманих даних (табл. 1) видно, що більш високі значення енергії ВЗМО мають коричний та бузковий альдегід та ліналоол, що вказує на їх більшу інгібуючу активність. Відомо, що чим менше значення енергії нижчої вакантної орбіталі молекули  $E(\text{НВМО})$ , тим більша здатність молекули приймати електрон з металу. Згідно з отриманими розрахованими даними досліджувані молекули, відповідно до здатності бути акцепторами електронів з металу, можна розмістити у такій послідовності: коричний альдегід > бузковий альдегід > бензойний альдегід > ліналоол > нерол.

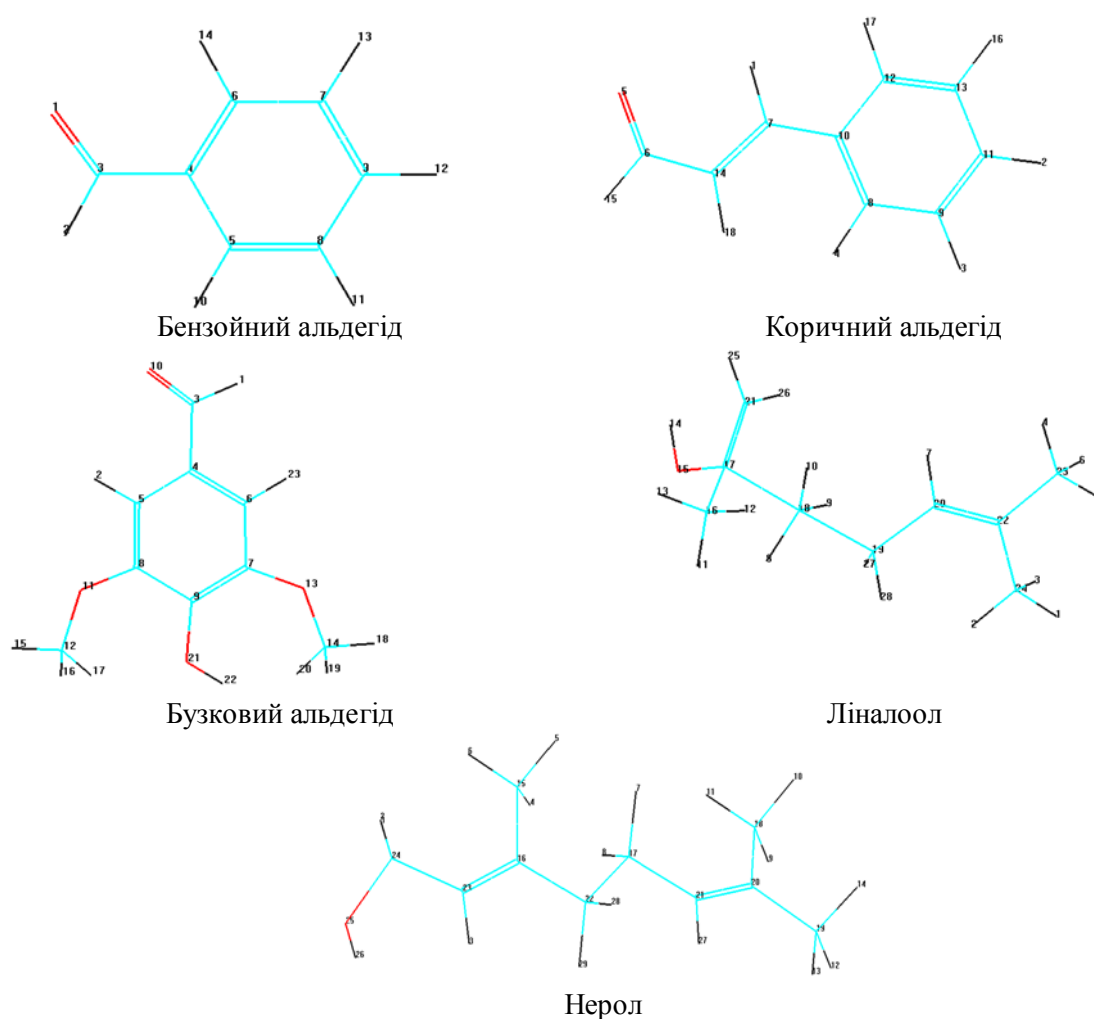


Рис. 1. Структура молекул основних компонентів ізопропанольного екстракту грон винограду після оптимізації геометрії молекул та послідовна нумерація атомів досліджуваних молекул (Hyper Chem 7.0, RHF розрахунок за методом MNDO-PM3)

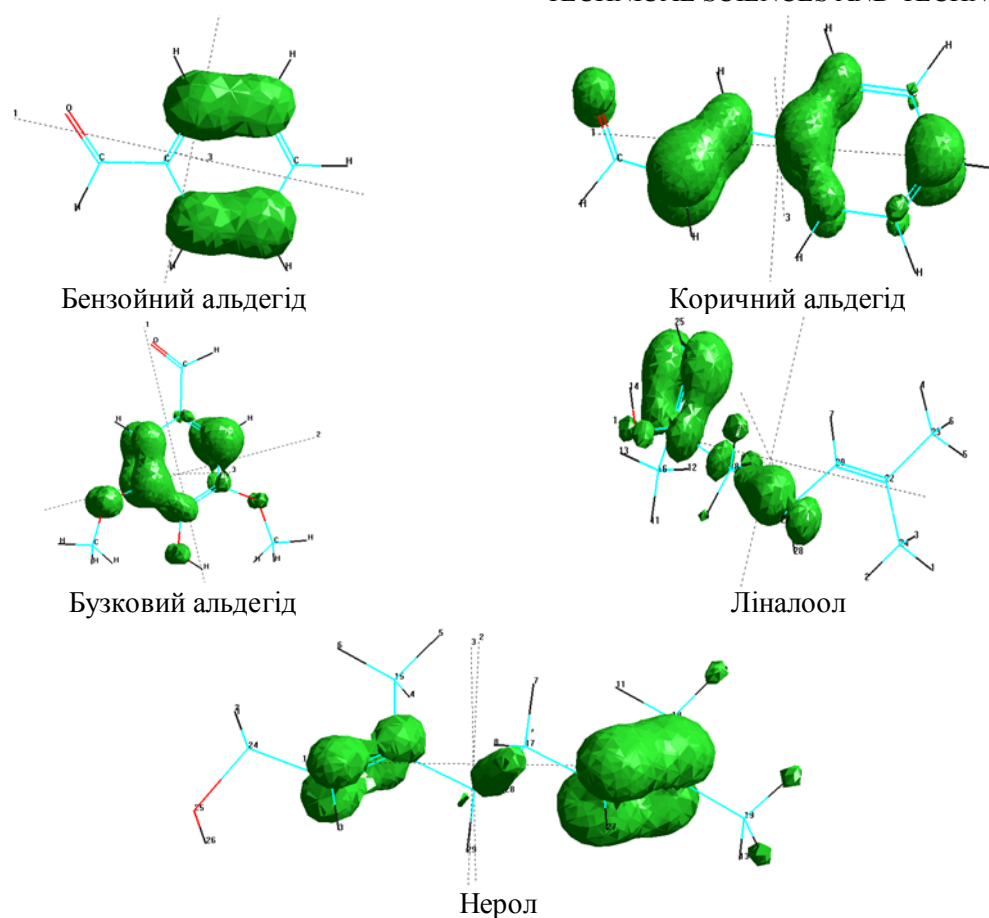


Рис. 2. Оптимізована структура молекул інгібіторів 1–5. Щільність вищої зайнятої молекулярної орбіталі (орбітальне значення щільності 0,005).

Таблиця 1

Квантово-хімічні характеристики молекул речовин, що входять до ізопропанольного екстракту грон винограду

Молекула	$E_{ВЗМО} (eV)$	$E_{НВМО} (eV)$	$\Delta\varepsilon (В-Н) (eV)$
Бензойний альдегід	-10,220	-0,560	9,660
Коричний альдегід	-9,400	-1,000	8,400
Бузковий альдегід	-9,440	-0,686	8,754
Нерол	-9,694	0,515	10,20
Ліналоол	-8,227	-0,283	7,944

У табл. 1 представлені розраховані значення енергії щільності досліджуваних молекул. Відомо, що високі значення цієї енергії молекули ( $\Delta\varepsilon = E(ВЗМО) - E(НВМО)$ ) свідчать про збільшення електронної стабільності та зменшення реакційної здатності, в той час, як більш низькі параметри цього значення вказують на більшу реакційну здатність, а отже, і високу інгібуючу ефективність, оскільки енергія для видалення електрона з останньої зайнятої молекулярної орбіталі буде низькою [4]. Так, значення енергії щільності для досліджуваних молекул збільшується в ряду: ліналоол < коричний альдегід < бузковий альдегід < бензойний альдегід < нерол. Отже, перші речовини ряду вірогідно є більш сильними інгібіторами. Розраховані значення абсолютної жорсткості  $\chi$ , абсолютної електронегативності  $\eta$ , абсолютної м'якості  $\sigma$ , сили взаємодії молекул з поверхнею  $\alpha - Fe \Delta N$ , зміни енергії при взаємодії та абсолютної електрофільності для досліджуваних молекул представлені в табл. 2. Отримані результати розрахунку електрофільності, що вважають індексом, який визначає схильність приймати електро-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ни, представлено в табл. 2. Чим вище значення електрофільності, тим вище здатність молекули приймати електрони. Таким чином, органічні сполуки з кращими нуклеофільними властивостями характеризуються низьким значенням  $\mu$  та  $\omega$ ; у той час як гарний електрофіль характеризується високим значенням  $\mu$  та  $\omega$ . Отримані результати свідчать, що всі розглянуті молекули мають низькі значення електрофільності, а отже, виступають як нуклеофіли. З розглянутого ряду органічних сполук більш високими нуклеофільними властивостями, більш вірогідно, володіють нерол та ліналоол.

Під час розглядання процесу адсорбції з погляду кислотно-основної взаємодії важливими кількісними параметрами, що характеризують цей процес, є ступінь перенесення заряду  $\Delta N$ , тобто сила взаємодії молекул кислоти – акцептора (поверхня заліза) й основи – донора (досліджувані речовини парової фази екстракту грон винограду) та величина зміни енергії, що супроводжують утворення комплексу.

Таблиця 2

*Абсолютна електронегативність, абсолютна жорсткість, ступінь перенесення заряду, зміна енергії та абсолютна електрофільність молекул ізопропанольного екстракту грон винограду*

Молекула	I	A	$\chi$ , (eV)	$\eta$ , (eV)	S, (eV)	$\Delta N$	$\Delta E$	$\omega$
Бензойний альдегід	10,22	0,56	5,39	4,83	0,207	0,166	-0,0168	1,34
Коричний альдегід	9,400	1,00	5,20	4,20	0,238	0,214	-0,0085	1,30
Бузковий альдегід	9,440	0,686	5,06	4,37	0,228	0,221	-0,0033	1,26
Нерол	9,694	-0,515	4,58	5,10	0,195	0,236	-0,0026	1,14
Ліналоол	8,227	0,283	4,25	3,97	0,251	0,345	-0,0199	1,06

Ступінь перенесення заряду  $\Delta N_{Fe}$  найбільша у ліналоолу і неролу (табл. 2). Значення  $\Delta N < 3,6$  [7] означає, що молекули мають здатність до передачі заряду до поверхні металу. При цьому гальмування процесу корозії збільшується за рахунок підвищення електрон-донорної здатності молекул до поверхні металу, що узгоджується з дослідженнями *Lukovits ta in.* Розраховані від'ємні значення зміни енергії ( $\Delta E$ ), пов'язані з процесом перенесення заряду, вказують на екзотермічність процесу, що сприяє процесу передачі заряду з органічних молекул до поверхні сталі.

**Висновки.** Отримані результати енергетичних параметрів молекул на основі квантово-хімічних розрахунків не вказують на чітку кореляцію отриманих даних відповідно до прогнозного оцінювання за різними індексами адсорбційної здатності, що, вірогідно, обумовлено різницею в хімічній будові досліджуваних сполук. Адсорбція досліджуваних органічних сполук на поверхні сталі обумовлена наявністю атомів кисню та  $\pi$ -електронів. Максимальний внесок в інгібуючу ефективність роблять терпенові сполуки – ліналоол та нерол.

### Список використаних джерел

1. *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.
2. *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.
3. *Использование* отходов переработки винограда для защиты металла от атмосферной коррозии / В. И. Воробьева, Е. Э. Чигиринец, М. И. Воробьева, С. Ю. Липатов // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2015. – № 1. – С. 35–41.
4. *Gökhan Gece*. The use of quantum chemical methods in corrosion inhibitor studies / Gece Gökhan // *Corrosion Science*. – 2008. – Vol. 50. – P. 2981–2992.
5. *Obot I. B.* Umoren Molecular Level Understanding of the Mechanism of Aloes Leaves Extract Inhibition of Low Carbon Steel Corrosion: A DFT Approach / Obot I.B., Z.M.Gasem, S.A. // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2014. – № 9. – С. 510–522.

6. Пирсон Р. Дж. Жесткие и мягкие кислоты и основания / Р. Дж. Пирсон // Успехи химии. – 1971. – Т. 40, № 7. – С. 1259–1282.

7. Frederick H. Walters. Design of corrosion inhibitors: Use of the hard and soft acid-base (HSAB) theory / Walters H. Frederick // J. Chem. Educ. – 1991. – Vol. 68. – Iss. 1. – P. 29–33.

УДК 664.630

**О.Л. Гуменюк**, канд. хім. наук

**М.П. Ксенюк**, ст. викладач

**К.О. Шупило**, студент

**О.Ю. Семенюк**, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ВИКОРИСТАННЯ АРОМАТИЗОВАНОЇ ОЛІЇ У ВИПІЧЦІ ЗДОБНИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

**О.Л. Гуменюк**, канд. хим. наук

**М.П. Ксенюк**, ст. преподаватель

**К.О. Шупило**, студент

**О.Ю. Семенюк**, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРОМАТИЗИРОВАННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА В ВЫПЕЧКЕ СДОБНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Oksana Humeniuk**, PhD in Chemical Sciences

**Mariia Kseniuk**, senior teacher

**Krystyna Shupylo**, student

**Olena Semeniuk**, student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### USING OF FLAVORED OIL IN BAKING BUNS BAKERY PRODUCTS

Одним із способів попередження окиснювальних процесів у хлібобулочних виробках, виготовлених з використанням рафінованих рослинних олій, є добавка штучно синтезованих (наприклад, аскорбінова чи лимонна кислота) або ж синтетичних (похідні фенолів: бутилгідроксианізол, бутилгідрокситолуол, ізоаскорбат натрію), які нерідко виявляються небезпечними для здоров'я людини. Як альтернатива синтетичним антиоксидантам для стабілізації олій пропонується використання спецій, ароматичних трав, чаю, насіння і т. ін. У цій роботі досліджені деякі фізико-хімічні показники якості зразків ароматизованої соняшникової олії, виготовлених за власними рецептурами. Показана можливість застосування ароматизованої олії у виробництві здобних хлібобулочних виробів.

**Ключові слова:** окиснення ліпідів, натуральні антиоксиданти, ароматизовані олії.

Одним из способов предупреждения окислительных процессов в хлебобулочных изделиях, изготовленных с использованием рафинированных растительных масел, является добавление искусственно синтезированных (например, аскорбиновая или лимонная кислота) или синтетических (производные фенолов: бутилгидроксианизол, бутилгидрокситолуол, изоаскорбат натрия), которые нередко оказываются опасными для здоровья человека. Как альтернатива синтетическим антиоксидантам для стабилизации растительных масел предлагается использование специй, ароматических трав, чая, семян и т. д. В данной работе были исследованы некоторые физико-химические показатели качества образцов ароматизированного подсолнечного масла, изготовленных по собственным рецептурам. Показана возможность применения ароматизированного растительного масла в производстве здобных хлебобулочных изделий.

**Ключевые слова:** окисление липидов, натуральные антиоксиданты, ароматизированные растительные масла.

One of way to prevent oxidative processes in the bakery products which are produced using refined vegetable oils is to add artificially synthesized additives (for example ascorbic or citric acid) or synthetic (derivatives of phenols: butylhidroksyanizol, butylhidroksytoluol, izoaskorbat sodium), which are often hazardous to human health. As an alternative to synthetic antioxidants for stabilization of vegetables oil is proposed the use of spices, aromatic herbs, tea, seeds, etc. The aim of this study was to investigate of some physical and chemical quality parameters of the samples of the flavored sunflower oil made according on our recipes. Based on the results obtained the possibility of the use of flavored vegetable oils in the production of full-flavored baked goods has been shown.

**Key words:** lipid oxidation, natural antioxidants, flavored vegetable oils.

**Постановка проблеми.** Відомо, що у виробництві здобних хлібобулочних виробів поряд з гідрогенізованими жирами використовують рафіновані олії [1]. Причому виро-

би з останніми набирають усе більшої популярності серед споживачів, що пов'язано з інформацією про шкідливість гідрогенізованих жирів через вміст транс-ізомерних жирних кислот [2].

Найважливішою характеристикою будь-яких жирових продуктів, у тому числі й олій, є стійкість до окиснення. У будь-якому біологічному матеріалі закладено природні механізми окиснювальної стабільності, які залежать від співвідношення фракційного складу жирнокислотних компонентів та наявності природних біоантиоксидантів [3]. Ці механізми продовжують працювати як за технологічного оброблення харчової сировини, так і під час зберігання готових жирових продуктів. У нерафінованих оліях такими природними біоантиоксидантами є перш за все токофероли (найбільш сильно виражені антиоксидантні властивості у  $\gamma$  і  $\sigma$ -токоферолу), ізофлавонові глікозиди та ін.

У процесі рафінування рослинні олії звільняють від вільних жирних кислот, гідропероксидів – речовин, що є причиною окиснення і подальшого псування жирів. Водночас рафінування позбавляє олії і від їх природних антиоксидантів і робить вразливими до факторів, що сприяють окиснювальним процесам у жирах: кисень (повітря), тепло, світло та йони металів. А тому в хлібобулочні вироби, що містять рослинні олії, додають антиоксиданти [4]. Практика додавання антиоксидантів у тісто є дуже поширеною і навіть необхідною у випадку використання олій з високим вмістом ненасичених жирних кислот. У недавньому минулому поширеним було використання екстрактів ароматичних рослин (розмарину, материнки, м'яти і т. ін.), які, крім значних антиоксидантних властивостей, загалом добре сприймаються споживачами саме через їх природне походження. Використання цих продуктів на сьогодні має безліч обмежень, пов'язаних зі стандартизацією їх антиоксидантної активності [5]. Водночас на ринку наявні різноманітні типи продуктів протиокиснювальної дії, що походять з розмарину, антиокиснювальна властивість якого оцінюється за вмістом карнозної кислоти.

Всезростаючий попит споживачів на натуральні продукти без добавок хімічного походження, зокрема фенольних антиоксидантів (propyl gallate, butylated hydroxyanisole (BHA) і butylated hydroxytoluene (BHT)) спонукає до пошуку альтернативних композицій або вилучених із природних джерел.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що джерелами природних антиоксидантів є спеції, трави, чаї, масла, насіння, злаки, оболонки какао, зерно, фрукти, овочі, ферменти, білки [6]. Серед рослинних екстрактів високими антиокиснювальними властивостями вирізняються ті, що містять різні окремі антиоксиданти, такі як флавоноїди (quercetin, kaempferol, myricetin), катехіни або феноли (carnosol, rosmanol, rosamaridiphenol) і фенольні кислоти (carnosic acid, rosmarinic acid). Серед трав родини губоцвітих розмарин є найбільш широко вивченим і його екстракти були першими на ринку природних антиоксидантів. Материнка, яка належить до тієї ж родини, теж викликає інтерес багатьох дослідницьких груп як потужний антиоксидант у ліпідних системах [7], зокрема для стабілізації олій.

Так, автори деяких публікацій на основі проведених досліджень [8] повідомляють, що антиоксидантна дія екстрактів материнки і чебрецю у соєвій олії під час термоокиснення проявляє кращий захист, ніж антиокисник синтетичного походження, а збільшення концентрації олієсмол завдяки змішуванню екстрактів чебрецю і материнки чинить ще більш високу захисну дію.

Як альтернативу ароматизованим оліям з додаванням свіжих трав, спецій і овочів деякі автори розглядають олії, стабілізовані за допомогою екстрактів спецій, використання яких дає можливість не генерувати додаткові аромати [9].

Існує багато відомостей про те, що деякі природні антиоксиданти, крім того, що інгібують процес окиснення ліпідів, відомі ще і своїми цілющими властивостями, внаслі-

док вмісту в них широкого спектра біологічно активних сполук, зокрема вказується на їх протиракові та знеболювальні властивості.

**Постановка завдання.** Дослідити вплив деяких спецій на фізико-хімічні показники якості соняшникової олії та можливість використання ароматизованих олій у виготовленні здобних хлібобулочних виробів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Першим етапом цієї роботи був підбір і складання рецептури суміші спецій для ароматизації соняшникової олії (табл. 1). У виборі спецій враховували їх антиоксидантні та органолептичні властивості. Технологія приготування була такою: свіжу зелень попередньо промивали у холодній воді, просушували і заливали олією; сухі спеції, такі як перець, кориця та ін. подрібнювали до порошкоподібного стану і теж заливали олією (рис.). Час настоювання олії становив від 10 (для свіжих трав) до 35 діб (для сухих спецій). Після настоювання олію проціджували.

Таблиця 1

*Рецептура приготування суміші спецій для ароматизації соняшникової олії*

Назва спеції	Зразки суміші спецій						
	1	2	3	4	5	6	7
Розмарин (трава)	+	-	+	+	-	-	-
Базилік (трава)	+	-	-	-	-	-	-
М'ята (трава)	+	-	-	+	-	-	-
Чебрець (трава)	+	+	-	-	-	-	-
Часник (зубчики свіжі)	-	-	-	+	-	-	-
Кориця (кора)	-	-	-	-	-	-	+
Аніс (насіння)	-	-	-	-	-	-	+
Коріндр (насіння)	-	-	-	-	-	-	+
Гвоздика	-	+	-	-	-	-	-
Чорний перець (горошок)	-	+	-	-	+	-	-
Мускатний горіх	-	-	-	-	-	-	+
Перець Чілі (стручок)	-	-	+	-	-	-	-
Перець червоний гіркий (стручок)	-	-	+	+	+	-	-
Лавровий лист	+	+	-	-	-	-	-
Імбир (порошок)	-	-	-	-	+	-	-
Куркума (порошок)	-	-	-	-	-	+	-
Тривалість процесу ароматизації, діб	10	14	35	20	10	10	10

*Примітка: \*чорний перець мелений; \*\*червоний гіркий перець мелений.*



*Рис. Приготування ароматизованої рафінованої соняшникової олії*

Для готових зразків ароматизованої соняшникової олії (після 35 діб від початку приготування) та контрольного зразка визначили йодне число рефрактометричним ме-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тодом за допомогою рефрактометра УРЛ-1. Для всіх зразків йодне число становило 127 %.

Таким чином, за даними експерименту, найкращими антиоксидантними властивостями характеризуються суміші 1...4, що містять свіжі трави розмарину, чебрецю, м'яти, а також сухі спеції: гвоздику, чорний та червоний перець, лавровий лист.

Для визначення впливу спецій на процеси окиснення олії вибрані зразки ароматизованих олій і контрольний були залишені на світлі за температури 25...28 °С у відкритій посудині на 90 діб, після чого знову визначили йодне число (табл. 2).

Таблиця 2

*Фізичні показники якості ароматизованої соняшникової олії*

Показник	Зразки суміші спецій							
	Контроль	1	2	3	4	5	6	7
Йодне число	111,8	114,2	113,9	114,0	113,9	111,9	111,9	113,5

Для встановлення можливого впливу рослинних соків свіжих трав на процеси гідролізу в соняшниковій були вибрані, зразки ароматизованих олій 1, 2, 4, кожен з яких відібрали в окремі ємності по 20 см<sup>3</sup>, залишили на 90 діб у світлому місці в закритих посудинах за температури 25 °С, після чого визначили для кожного зразка кислотне число згідно з [10]. Значення кислотного числа відібраних зразків після експерименту в порівнянні з контрольним зразком не змінилось і становило 0. Таким чином, сік свіжих ароматичних трав не призводить до гідролізу рафінованої соняшникової олії.

Для визначення можливості і доцільності використання ароматизованої соняшникової олії у здобних хлібобулочних виробках відібрали зразки 4, 5, 8. Склали рецептуру приготування здобних булочок [11–13] з використанням ароматизованої соняшникової олії (табл. 3). Ароматизовану олію вводили в рецептуру, а також використовували як підливу для поверхні готових виробів (пампушки з часником).

Таблиця 3

*Пофазна рецептура приготування здобних виробів з використанням ароматизованої соняшникової олії*

Показники	Активована фаза	Тісто	Оздоблення	Активована фаза	Тісто	Підлива часникова
1	2	3	4	5	6	7
<b>Сировина, кг</b>	Булочки Таврійські			Пампушки з часником		
Борошно пшеничне в/г	10,0	88,0	2,0	10,0	88,5+1,5 на підпил	–
Дріжджі пресовані	3,0	1,5	–	4,0	–	–
Сіль	–	5,0	–	–	5,58	0,2/0,15л
Цукор білий крист.	–	14,0	1,0	–	3,0	–
Олія ароматизов.	–	12,0	1,5	–	2,5	0,5
Вода	18,5	17,5	–	19,0	30,0	0,4
Яйця курячі	–	8,0	2,0	–	–	–
Маргарин	–	–	–	–	0,75	–
Часник	–	–	–	–	–	0,5
Сухе молоко	–	–	–	–	1,87	–
<b>Технологічні режими приготування</b>						
Вологість, %	70...75	35...36		70...75	42...42,5	
Кінцева кислотність, град.		2,0...2,5			2,0...2,5	
Початкова температура бродіння, °С	30...32	29...30	–	32	28...30	
Час бродіння, хв.	30...60	20...40	–	60	30...40	

1	2	3	4	5	6	7
<b>Розроблення тіста і випікання</b>						
Маса заготовки, кг	–	0,11	–	–	0,4*	–
Тривалість вистоювання, хв.	–	50...60	–	–	40...60	–
Тривалість випікання, хв.	–	25...30	–	–	20	–
Температура печей, °С	–	220	–	–	270±10	–

\*Примітка: формують 8 часточок-колобків по 50 г у форму.

Дослідили органолептичні властивості готових виробів. Одержані зразки здобних булочок з використанням ароматизованої олії мають гарну круглу форму, з 2...4 злипами, і пропечену структуру, не вологу на дотик, еластичні. Колір скоринки – золотисто-жовтий, поверхня – зверху посипана крихтами. М'якушка еластична, швидко відновлюється, має дрібну тонкостінну, рівномірну пористість, що становить 68 %, колір – світлий. Смак і запах – приємний з відчутним присмаком спецій. Вологість одержаних виробів становить 35 % для булочки таврійської і 42,0 % для пампушок з часником; кислотність – 2,5 град.

**Висновки та пропозиції.** В результаті проведених досліджень було встановлено таке:

- олії, ароматизовані сумішами свіжих трав, таких як розмарин, м'ята, чебрець, базилік, а також такими спеціями, як червоний і чорний перець, лавровий лист, гвоздика, аніс, часник, є більш стійкими до процесів окиснення;
- найбільшу антиоксидантну дію проявляють суміші, до складу яких входять розмарин, чебрець, гвоздика, червоний і чорний перець, часник;
- доцільною є заміна рафінованої соняшникової олії на ароматизовану в рецептурах здобних виробів з метою зниження окиснювальних процесів у жирах, а також надання виробам специфічного приємного смаку.

У зв'язку з одержаними результатами були визначені перспективи використання ароматизованої рафінованої соняшникової олії у виробництві здобних булочок.

#### Список використаних джерел

1. *Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий.* – М. : Прейскурантиздат, 1989. – 493 с.
2. *Смоляр В. І.* Концепція ідеального жирового харчування / В. І. Смоляр // Проблеми харчування. – 2006. – № 4. – С. 5–13.
3. *Щербаков В. Г.* Биохимия и товароведение масличного сырья / В. Г. Щербаков, В. Г. Лобанов ; Кубанский государственный технологический университет. – М. : Колос, 2012. – 392 с.
4. *Нечаев А. П.* Пищевые добавки / А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, А. П. Зайцев. – М. : Колос, 2002. – 256 с.
5. *Thongtan, K.* Effect of rosemary extract on lipid oxidation and sensory evaluation of frozen, precooked beef patties / K. Thongtan, R. B. Toma, W. Rieboldt, A. Z. Dahoud // *Foodserv. Res. Int.* – 2005. – № 16. – P. 93–104.
6. *Total antioxidant capacity of spices, dried fruits, nuts, pulses, cereals and sweets consumed in Italy assessed by three different in vitro assays / N. Pellegrini, M. Serafini, S. Salvatore and oth // Molecular nutrition & food research.* – 2006. – Volume 50. – Issue 11, November. – P. 1030–1038.
7. *Yanishlieva N.* Stabilisation of edible oils with natural antioxidants / N. Yanishlieva, E. Marinova // *European journal of lipid science and technology.* – 2001. – Volume 103. – Issue 11, November. – P. 752–767.
8. *Jorge N., Médiçi Veronezi C. Del Ré P.* Antioxidant Effect of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) and Oregano (*Origanum vulgare* L.) Extracts in Soybean Oil Under Thermoxidation // *Journal of food processing and preservation.* – 1999. – Vol. 79. – P. 277–285.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. *New Opportunities of the Application of Natural Herb and Spice Extracts in Plant Oils: Application of Electron Paramagnetic Resonance in Examining the Oxidative Stability* / Kozłowska M, Szterk A., Zawada K., Ząbkowski T. // Journal of food science. – 2012. – Vol. 77. – Issue 9, September. – P. 994–999.

10. *ГОСТ 5476-80. Масла растительные. Метод определения кислотного числа.* – Введ. 1981–07–01. – М., 1980. – 30 с.

11. *Дробот В. І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва* / В. І. Дробот. – К. : Руслана, 1998. – 415 с.

12. *Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва* / В. І. Дробот. – К. : Логос, 2002. – 365 с.

13. *Дробот В. І. Технологічні розрахунки у хлібопекарському виробництві (задачник) : навчально-методичний посібник* / В. І. Дробот. – К. : Кондор, 2010. – 440 с.

УДК 645.481-027.45

**Г.М. Михайлова**, канд. техн. наук

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

**Ю.В. Гілевич**, канд. техн. наук

Науково-технічний центр підтвердження відповідності, стандартизації та випробувань продукції легкої промисловості та засобів індивідуального захисту, м. Київ, Україна

### ЕЛЕКТРИЧНА БЕЗПЕЧНІСТЬ ПОСТІЛЬНИХ ВИРОБІВ З ОБ'ЄМНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ

**Г.Н. Михайлова**, канд. техн. наук

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

**Ю.В. Гилевич**, канд. техн. наук

Научно-технический центр подтверждения соответствия, стандартизации и исследований продукции легкой промышленности и средств индивидуальной защиты, г. Киев, Украина

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОСТЕЛЬНЫХ ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ С ОБЪЕМНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

**Halyna Mykhailova**, PhD in Technical Sciences

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

**Yuliia Hilevich**, PhD in Technical Sciences

Head of Scientific-Technology Center of Capability Conformity, Standardization and Testing of Light Industry Products and Personal Protection Equipment, Kyiv, Ukraine

### ELECTRICAL SAFETY OF BEDDING PRODUCTS WITH VOLUMETRIC FILLERS

*Показано актуальність досліджень електричної безпеки постільних виробів з об'ємними наповнювачами. Наведено результати експериментальних досліджень електризованості об'ємних наповнювачів для постільних речей.*

**Ключові слова:** постільні вироби, об'ємні наповнювачі, безпека, електризованість.

*Показана актуальність досліджень електричної безпеки постільних виробів з об'ємними наповнювачами. Приведены результаты экспериментальных исследований электризуемости объемных наполнителей для постельных принадлежностей.*

**Ключевые слова:** постельные принадлежности, объемные наполнители, безопасность, электризуемость.

*The currency of electrical safety testing of bedding products with volumetric fillers is shown. The experimental results of electrostatic charging of volumetric fillers for bedding products are adduced.*

**Key words:** bedding products, volumetric fillers, safety, electrostatic charging.

**Постановка проблеми.** Останнім часом світова спільнота все більше уваги приділяє безпеці товарів, зокрема, текстильним. Адже численні дослідження свідчать, що здоров'я людини обумовлюється трьома комплексами факторів – спадково-генетичним, соціально-економічним і екологічним. Інтенсивне впровадження хімічних речовин в усі галузі народного господарства дає підставу вважати, що хімічний фактор є одним із провідних для багатьох профільних розділів гігієни [1]. Сьогодні промисловість випускає широкий асортимент швейних виробів домашнього вжитку для сну та

відпочинку: ковдри, подушки, ковдри, на матрацники, підкладки стьобані утеплені та інше з об'ємними наповнювачами. Для наповнювачів використовують натуральні волокна, полотно неткане, пух, перо чи кульки з поліефірних волокон.

У забезпеченні вимог споживачів до безпечності швейних виробів з об'ємним наповнювачем суттєву роль відіграє і здатність їх до електризації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питанням теорії та практики електричної безпечності текстильних товарів сьогодні приділяється значна увага, про що свідчить велика кількість публікацій [2–7]. Спільна думка авторів ґрунтується на тому, що чим вище показник питомого електричного опору, тим більша ймовірність електризації текстильних матеріалів під час тертя і тим більша тривалість збереження зарядів статичної електрики.

Автори розглядають суперечності в термінологічній базі та вважають, що під безпечністю слід розуміти властивість продукції, а не її стан.

В українській мові існують два поняття – «безпека» та «безпечність». Безпека – це стан, коли кому-, чому-небудь ніщо не загрожує, а безпечність – це відсутність небезпеки [8].

На міжнародному рівні вимоги до найважливіших показників безпечності текстильних товарів встановлені стандартами серії Oeko-Tex-Standard 100. Дотримання цих вимог дає змогу наносити відповідне маркування на готовий виріб, що в свою чергу позитивно впливає на довіру споживача [9].

Гранично допустимі значення безпечності зазначені чинними в Україні нормативними документами – Сан ПіН № 42-125-4390-87 «Вложение химических волокон в материалы для детской одежды и обуви в соответствии с гигиеническими показателями» [10], ДСТУ 4239:2003 «Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги» [11] та наказом Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Основні гігієнічні вимоги» [12].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Відомо, використання натуральної сировини значною мірою забезпечить нешкідливість готових виробів. Тому особливим попитом у споживачів користуються швейні вироби домашнього вжитку для сну та відпочинку з об'ємними наповнювачами з натуральних волокон – ковдри з пуху водоплаваючої птиці, овечої, верблюжої та кашемірової вовни, бавовняного, шовкового та бамбукового волокна. Але в жодному нормативному документі не зазначені вимоги щодо електричної безпечності, а саме гранично допустимих норм електризованості постільних виробів.

**Мета статті** – дослідити електризованість наповнювачів для постільних виробів. Під час дослідження використовувалися результати експериментальних даних досліджень наповнювачів для постільних виробів.

**Виклад основного матеріалу.** Електризованість – це здатність текстильних матеріалів до генерації та накопичення у певних умовах зарядів статичної електрики [13].

Заряди статистичної електрики можуть виникати на постільних виробах як у процесі їх виробництва, так і під час їх експлуатації (наприклад, вологості). Так, напруженість статичного електричного поля на швейних виробах з лавсану, нітрону може досягати 5000 В/см. Накопичення електростатичних зарядів, їх величина та певна полярність викликають прилипання виробів до тіла людини, іскріння, тріск, швидке забруднення внаслідок притягання пилу [14].

При цьому небезпечні та шкідливі прояви статичної електрики в умовах виробництва і в побуті можна звести до чотирьох основних груп [15; 16], зазначених на рис.



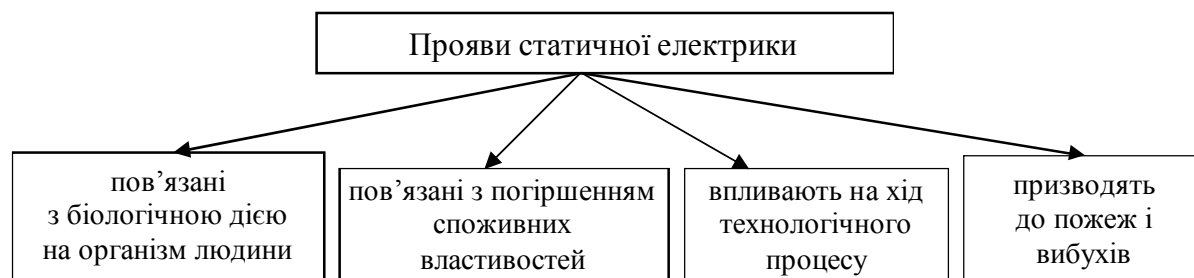


Рис. Шкідливі прояви статичної електрики

Статична електрика становить реальну загрозу здоров'ю та життю споживачів. Наявність зарядів на людині негативно впливає на її самопочуття, створюючи дискомфорт і умови до виникнення захворювань серцево-судинної і нервової систем, респіраторними захворюваннями.

Прийнято вважати, що при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості повітря 65 % допустимою величиною питомого електричного опору для більшості матеріалів, яка не викликає інтенсивної їх електризації, є  $10^{11}$  Ом [17]. Наприклад, для побутового одягу допустимий рівень питомого поверхневого електричного опору повинен знаходитися в межах до  $10^{14}$  Ом (для дорослих) та  $10^{11}$  Ом (для дітей) [18].

Здатність постільних речей створювати комфортні умови для повноцінного відпочинку людини, захищати її організм від несприятливого впливу навколишнього середовища обумовлює необхідність дослідження їх електризованості. Критерієм електричної безпечності було обрано питомий електричний опір. Дослідження проводилися в лабораторії аналітичних досліджень та випробувань продукції науково-технічного центру підтвердження відповідності, стандартизації та випробувань продукції легкої промисловості та засобів індивідуального захисту ДП «Укрметртестандарт» (м. Київ).

Враховуючи простоту та доступність стандартних методів, питомий поверхневий електричний опір визначали за стандартною методикою за ГОСТ «Ткани и трикотажные полотна. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления» [19]. Цей нормативний документ розповсюджується не тільки на тканини та трикотажні полотна з натуральної та хімічної сировини, але і для штучного хутра. Це в свою чергу і дало підставу використати цю методику для постільних виробів з об'ємними наповнювачами. Оскільки на величину питомого електричного опору текстильних матеріалів суттєво впливає не тільки їх будова, сировинний склад, а також умови навколишнього середовища (вологості і температури повітря), перед лабораторними дослідженнями зразки спочатку висушували, а потім витримували у стандартних кліматичних умовах ( $\varphi=65\pm 2\%$ ,  $t=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) згідно з ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения» [20].

Для дослідження питомого поверхневого електричного опору постільних виробів було обрано 10 зразків пакетів ковдр з різними за волокнистим складом об'ємними наповнювачами. Пакети ковдр були виготовлені на відомому підприємстві ТОВ «Герд Біллрбек ГмбХ». Результати дослідження наведені в табл.

Таблиця

Електрична безпечність постільних виробів з об'ємними наповнювачами

№ п/п	Назва наповнювача	Товщина, мм	Питомий поверхневий електричний опір, Ом
1	2	3	4
1	Пух-перо	37,0	$7,63 \cdot 10^{10}$
2	Поліефірне	32,5	$1,49 \cdot 10^{12}$
3	Бавовняне	15,5	$6,17 \cdot 10^{10}$

1	2	3	4
4	Бамбукове	20,5	$2,50 \cdot 10^{10}$
5	Люцел	21,5	$8,03 \cdot 10^{10}$
6	Вовняне (овеча)	31,5	$2,85 \cdot 10^{10}$
7	Кашемірове	18,5	$1,21 \cdot 10^{11}$
8	Вовняне (верблюжа)	20,5	$3,76 \cdot 10^{11}$
9	Шовкове натуральне	25,5	$2,24 \cdot 10^{11}$
10	Льон+вовна	12,0	$5,46 \cdot 10^{10}$

Питомий поверхневий електричний опір досліджуваних постільних виробів коливається у значних межах. Найкращими показниками електричної безпечності характеризуються постільні вироби з бамбуковим, бавовняним та наповнювачем із суміші лляних та вовняних волокон.

**Висновки і пропозиції.** Оскільки густина електричного заряду, що виникає на поверхні постільних виробів, та його питомий поверхневий електричний опір залежить передусім від волокнистого складу наповнювача, то найбільшою електропровідністю характеризуються вироби із целюлозомісткими наповнювачами. Вищі показники питомого поверхневого опору спостерігаємо у виробах з природними білковими наповнювачами (вовняні, шовкові).

Отже, в сучасних умовах, коли розвиток суспільства орієнтований на забезпечення високого рівня якості життя людини, встановлено, що безпечність текстильних товарів, зокрема постільних виробів з об'ємними наповнювачами, залежить від призначення та ступеня контакту із шкірою людини. Адже продукція, що не становить ризику (або має мінімальні ризики) для здоров'я та безпеки споживачів, є безпечною продукцією.

#### Список використаних джерел

1. *Текстильні матеріали та одяг – сучасні проблеми безпеки* / М. Г. Проданчук, Л. Г. Сененко, Н. Є. Дишніевич, Г. І. Рукавцев та ін. // Легка промисловість. – 2004. – № 4. – С. 36–37.
2. *Аронов И. З. Качество продукции и безопасность: что первично?* / И. З. Аронов // Стандарты и качество. – 2006. – № 1. – С. 34–37.
3. *Белов В. П. Терминологическая база теории безопасности* / В. П. Белов, А. Д. Голяков // Стандарты и качество. – 2003. – № 7. – С. 32–35.
4. *Осипенко Н. І. Безпечність товарів як передумова формування вітчизняного споживчого ринку* / Н. І. Осипенко, Г. Ф. Пугачевський // Товарознавство та інновації : зб. наук. пр. – 2010. – Вип. 2. – С. 8–15.
5. *Дослідження електромагнітних властивостей текстильних матеріалів, оброблених натуральними фарбниками* / Ю. О. Скрипник, О. А. Ваганов, Н. П. Супрун, К. Л. Шевченко та ін. // Вісник НТУУ «КПІ». – 2009. – Вип. 37. – С. 134–140.
6. *Хребтань О. Вплив обробки на електризованість пальтових вовняних тканин* / О. Хребтань // Товари і ринки. – 2013. – № 1. – С. 138–142.
7. *Савчук М. П. Порівняльна оцінка електропровідності матеріалів для одягу та взуття* / М. П. Савчук, В. М. Калита // Вісник ХНУ. – 2009. – № 5. – С. 147–149.
8. *Великий тлумачний словник сучасної української мови* / уклад. і головн. ред. В. Т. Бусел. – К. ; Ірпінь : ВТФ «Перун», 2004. – 1440 с.
9. *Oeko-Tex-Standard 100. Общие условия.* – М. : Международная Ассоциация по исследованию и испытаниям в области текстильной экологии [Перевод Федерального фонда стандартов Госстандарта России]. – 19 с.
10. *Сан Пін № 42-125-4390-87. Вложение химических волокон в материалы для детской одежды и обуви в соответствии с гигиеническими показателями.* – М. : Министерство здравоохранения СССР. – 1987. – 8 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

11. *Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги* : ДСТУ 4239:2003. – [Чинний від 2004–10–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 17 с.
12. *Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Основні гігієнічні вимоги»* : Наказ МОЗ України від 29.12.2012 р. № 1138 // Офіційний вісник України. – 2013. – № 6. – С. 328.
13. *Кукин Г. Н.* Текстильное материаловедение / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев. – М. : Легкая индустрия, 1967. – 302 с.
14. *Гілевич Ю. В.* Розробка спеціального взуття для захисту від електростатичних зарядів та полів : дис. ... канд. техн. наук / Ю. В. Гілевич. – К., 2013. – 210 с.
15. *Сабарно Р. В.* Опасности статического электричества / Р. В. Сабарно, А. В. Слонченко. – К. : Знание, 1969. – 35 с.
16. *Гефтер П. Л.* Влияние электризации напольных покрытий на их загрязняемость / П. Л. Гефтер, Н. А. Атянина // Текстильная промышленность. – 1983. – № 3. – С. 56–57.
17. *Шевердяев О. Н.* Антистатические полимерные материалы / О. Н. Шевердяев. – М. : Химия, 1983. – 176 с.
18. *Осипенко Н. І.* Дослідження безпеки нових камвольних тканин / Н. І. Осипенко // Товари і ринки. – 2006. – № 2. – С. 188–193.
19. *Ткани и трикотажные полотна. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления* : ГОСТ 19616-74. – [Действующий от 1974–03–25]. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 4 с.
20. *Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения* : ГОСТ 10681-75. – [Действующий от 1978–01–01]. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 30 с.

УДК 613.2.032.33

**Ю.М. Мотузка**, канд. техн. наук

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

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТРЕБ ЦІЛЬОВОЇ КАТЕГОРІЇ СПОЖИВАЧІВ У ПРОДУКТАХ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МЕДИЧНИХ ЦІЛЕЙ

**Ю.Н. Мотузка**, канд. техн. наук

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

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЦЕЛЕВОЙ КАТЕГОРИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ПРОДУКТАХ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ

**Yuliia Motuzka**, PhD in Technical Sciences

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

### THE RESEARCH OF NEEDS OF THE TARGET CATEGORIES OF CONSUMERS IN PRODUCTS FOR SPECIAL MEDICAL PURPOSES

*Представлено результати досліджень потреб пацієнтів і лікарів медичних закладів у продуктах для спеціальних медичних цілей, зокрема ентерального харчування. Визначено, що наявний асортимент представлених на ринку України продуктів не задовольняє повною мірою вимог фахівців та очікувань споживачів. Це підтверджує своєчасність та нагальність розроблення продуктів вітчизняного виробництва. Вивчено потреби цільової категорії споживачів за органолептичними показниками, видом продукту, зручністю споживання та зберігання, пакуванням, доступністю та прийнятністю з економічного погляду. Отримані результати покладено в основу розроблення вітчизняних продуктів для ентерального харчування.*

**Ключові слова:** анкетування, продукти для ентерального харчування, якість, органолептичні властивості, потреби, попит.

*Представлены результаты исследований потребностей пациентов и врачей медицинских учреждений в продуктах для специальных медицинских целей, в частности энтерального питания. Определено, что существующий ассортимент представленных на рынке Украины продуктов не удовлетворяет в полной мере требованиям специалистов и ожиданий потребителей. Это подтверждает своевременность и актуальность разработки продуктов отечественного производства. Изучены потребности целевой категории потребителей по органолептическим показателям, видом продукта, удобством потребления и хранения, упаковке, доступностью и приемлемостью с эко-*

номической точки зрения. Полученные результаты положены в основу разработки отечественных продуктов для энтерального питания.

**Ключевые слова:** анкетирование, продукты для энтерального питания, качество, органолептические свойства, потребности, спрос.

*This paper presents the results of research needs of patients and physicians of medical institutions in foods for special medical purposes, including enteral nutrition. The survey result showed that medical practical use of products for nutritional support is essential, but the range of this product group is limited and does not meet the existing relevant demand. This confirms the timeliness and urgency of developing domestic products. Studied the needs of the target consumer category organoleptic properties, type of product, ease of use and storage, packaging, availability and acceptability from an economic point of view. The obtained results were used to form basis of domestic enteral nutrition products development.*

**Key words:** questionnaire, enteral nutrition products, quality, organoleptic properties, needs, demand.

**Постановка проблеми.** Недостатність харчування поширена серед більшості хворих, які знаходяться як на амбулаторному лікуванні, так і тих, що перебувають у лікувальному закладі. Найбільш часто недостача поживних речовин спостерігається у таких категоріях хворих: особи похилого віку – 50 %, пацієнти з респіраторними захворюваннями – 45 %, пацієнти з запальними захворюваннями кишковика – 80 %, пацієнти із злякисними пухлинами – 85 % [1]. Достатньо широко недостатність харчування поширена серед пацієнтів неврологічного профілю [2].

Необхідність нутритивної підтримки для пацієнтів різних відділень медичних закладів та тих, хто лікується в домашніх умовах, не викликає сумнівів. Багаторічні наукові дослідження засвідчили, що близько 60 % пацієнтів потребують спеціального харчування – продуктів для спеціальних медичних цілей [3]. Ці продукти призначені для часткової або повної заміни звичайного раціону пацієнтів з обмеженою, ослабленою або порушеною здатністю приймати, перетравлювати, засвоювати звичайні харчові продукти або певні поживні речовини, що містяться в них, або їх метаболіти. Харчові продукти для спеціальних медичних цілей також можуть призначатися для повного або часткового годування пацієнтів з іншими визначеними лікарем потребами, які неможливо задовольнити за допомогою модифікації звичайного раціону харчування. До цієї групи відносять також продукти для ентерального харчування.

Нині ринок продуктів для спеціальних медичних цілей характеризується значними темпами зростання обсягу та підвищеним попитом на них. За даними компанії Business Insight Limited, обсяг світового ринку досліджуваної продукції за останні 5 років демонструє загальний щорічний приріст на рівні 9–11 % [3]. Це обумовлено процесом загального старіння населення, підвищенням рівня захворюваності, погіршенням екологічної ситуації.

Враховуючи досить обмежений асортимент вітчизняних продуктів для спеціальних медичних цілей, зокрема ентерального харчування, їх високу вартість та недоступність для вітчизняних споживачів продукції закордонного виробництва, зростаючі потреби у ній хворих та поранених, необхідним та нагальним є розроблення вітчизняних продуктів для нутритивної підтримки хворих з урахуванням їх специфічних потреб.

Вибір продуктів для ентерального харчування залежить від багатьох чинників, зокрема стану хворого, специфіки захворювання, періоду лікувального етапу (до- та після-операційний період, ранній реабілітаційний період у медичному закладі й віддалений в амбулаторних умовах) тощо [4]. Тому під час розроблення продуктів для ентерального харчування необхідним є врахування вимог до них лікарів різного профілю, які безпосередньо використовують їх у своїй практичній діяльності, і потреб хворих, для яких призначені ці продукти.

До продуктів для медичних цілей апіорі висуваються підвищені вимоги щодо їх безпечності та якості. Однак, враховуючи специфіку споживачів, їх фізичний та психологічний стан, що зумовлений видом ураження та/або певною хворобою, значну роль відіграють органолептичні характеристики продукту (консистенція, смак, запах, можливість розчинення), форма продукту (сухий розчинний, напій, драгледоподібний тощо),

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

зручність споживання та зберігання, доступність і прийнятність з економічного погляду. Тому доцільним для правильного позиціонування цієї групи продуктів вбачається визначення особливостей очікувань і вподобань цільового сегмента споживачів для максимального задоволення їх потреб.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розроблення та вдосконалення наукових принципів забезпечення нутрітивних потреб людей із пораненнями, травмами, соматичними захворюваннями, основ створення та вдосконалення продуктів для їх ентерального харчування, підтвердження доцільності їхнього використання здійснювали такі провідні вчені, як О.В. Беляєв, В.М. Луфт, І.Є. Хорошилов, О.Н. Почепень, А. Abad-Jorge, R. Bankhead, H. Lochs, J. Mirtallo, V. Zurita та ін. [2; 3; 5–11]. Науковцями розроблені загальні підходи до харчування хворих, принципи збагачення продуктів високі цінними компонентами, які сприяють збереженню здоров'я і підвищенню захисних властивостей організму. Ці засади покладені в основу цільової корекції раціонів цієї категорії споживачів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Більшість із представлених на ринку продуктів розроблені з урахуванням медичних аспектів щодо потреб організму хворих у необхідних нутрієнтах, однак при цьому належної уваги не надається споживчій складовій під час їх позиціонування.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є дослідження потреб у продуктах для ентерального харчування медичного персоналу та пацієнтів (хворих та поранених).

**Виклад основного матеріалу.** Для виконання поставленого завдання було використано метод опитування через анкетування. До анкетування були залучені практикуючі лікарі НВМКЦ «Головний військовий клінічний госпіталь», лікарні швидкої допомоги, ДУ «Інститут отоларингології ім. проф. О.С. Коломійченка НМАН України» та пацієнти НВМКЦ «Головний військовий клінічний госпіталь».

В анкетуванні взяли участь 22 медичні працівники хірургічного профілю та 149 пацієнтів. Вибірка є репрезентативною та має цільовий характер.

У коло питань під час анкетування лікарів були включені такі: медична спеціалізація, досвід використання у практичній діяльності продуктів для ентерального харчування (підтверджена ефективність та проблеми), джерела надходження інформації про асортимент продуктів, переваги та недоліки представленої на ринку продукції, критерії вибору продуктів під час їх призначення пацієнтам, умови та спосіб використання продуктів, органолептичні показники, форма продукту, зручність щодо використання, зберігання, бажані вимоги до складу продуктів.

Визначено, що 95,4 % опитаних лікарів у своїй практичній діяльності працюють з хворими, яким за медичними показаннями рекомендовано вживання продуктів для ентерального харчування (зокрема, це хворі в критичних станах, до та після операцій, з порушеними функціями акту ковтання, з наявними ознаками синдрому гіперметаболізму та ін.). При цьому 20 респондентів (91 %) систематично використовують під час лікування цю групу продуктів і мають позитивні, підтверджені відповідними медичними дослідженнями, дані щодо їх ефективності.

Основними джерелами інформації для медичного персоналу про представлені на ринку продукти є: презентаційно-рекламна інформація від виробників, отримана на спеціалізованих заходах (конференції, семінари тощо) – 59,0 % опитаних; рекомендації колег – 27,3 %, інтернет-мережа – 9,0 % та спеціалізована література – 4,5 %. При цьому визначальними чинниками у разі рекомендації продуктів хворим були: врахування специфіки певного ураження або захворювання, стан хворого та склад продукту – 6 респондентів, продукція певного виробника – 2, ціна та доступність продукції на ринку – 4, позитивний досвід використання продукту на практиці, відгуки колег та пацієнтів – 10 (рис. 1).

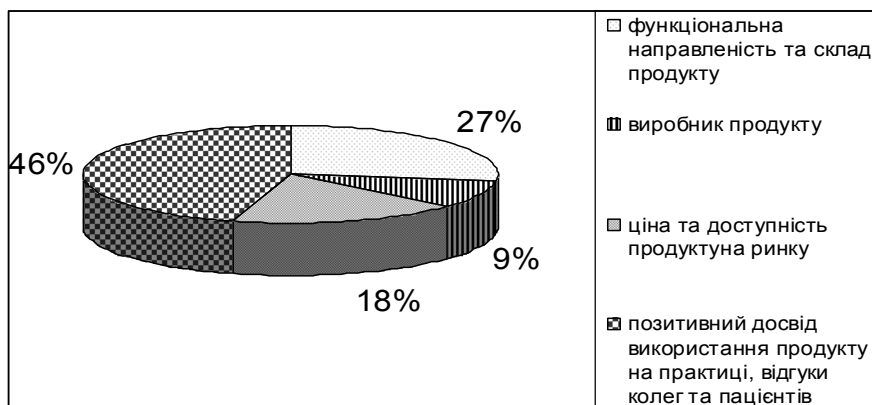


Рис. 1. Визначальні чинники під час рекомендації лікарями хворим продуктів для ентерального харчування

Переважає більшість лікарів у разі призначення пацієнтам продуктів рекомендують продукцію транснаціональних компаній, яка імпортується в Україну, зокрема, компаній Nestle (Швейцарія), Fresenius Kabi (Німеччина), Danone (Нідерланди), Abbott Laboratories (США), Berlin-Chemie (Німеччина), Humana (Німеччина) (рис. 2). При цьому всі респонденти висловили побажання і готовність використовувати продукти вітчизняного виробництва.

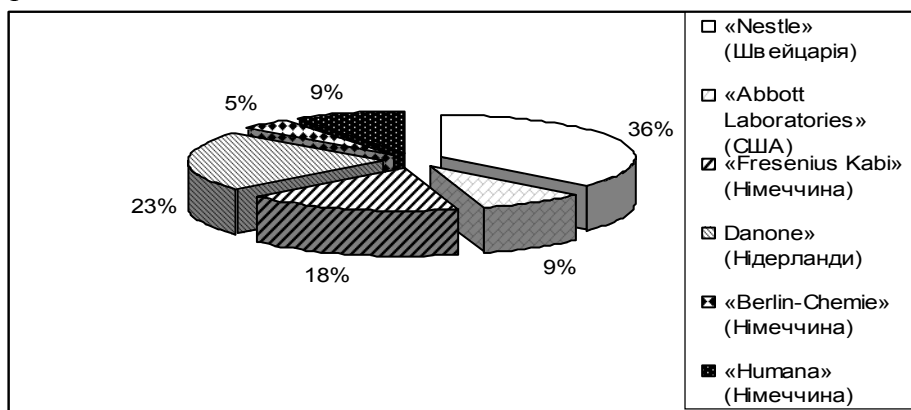


Рис. 2. Переваги медичного персоналу щодо торговельних марок продуктів для ентерального харчування

72,3 % опитаних лікарів зазначають, що наявні на ринку продукти задовольняють вимогам, які вони висувають до них, однак 95,4 % респондентів відзначили недоступність цієї категорії продуктів для переважної більшості пацієнтів.

За даними анкетування, 91 % медичних фахівців включають продукти для ентерального харчування в раціон як основне джерело енергії для хворих у до- та післяопераційних період, для осіб, які знаходяться у критичному стані, за неможливості ковтання тощо. При цьому переважна більшість опитаних рекомендує використовувати ці продукти як додаткове джерело поживних речовин протягом лікувального та відновлювального періодів. Від споживання продуктів для ентерального харчування лікарі передусім очікують покращення лікувального ефекту за рахунок повноцінного забезпечення метаболічних потреб організму, відновлення енергетичних ресурсів хворого та гомеостазу організму в цілому та пришвидшення темпів лікування й реабілітації.

91 % опитаних висловили побажання щодо розроблення продуктів для ентерального харчування з урахуванням специфіки конкретного захворювання та етапу лікування (до- та післяопераційний період, ранній та віддалений періоди реабілітації), а 9 % лікарів задовольняють продукти зі стандартною формулою. Для 19 осіб зручним є забезпечення «універсальності» продукту, тобто можливості його використання як під час ентерального способу споживання, так і зондового введення.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Щодо форми продуктів, то під час використання продуктів у медичних закладах 47,5 % лікарів надають перевагу продуктам у сухому розчинному вигляді, 52,5 % – продуктам у рідкій формі у пластикових пакетах, переважно через зручність їх використання під час зондового харчування. А для використання на більш віддаленому етапі реабілітації 88 % респондентів найбільш прийнятними визначили структуровані продукти (драгелеподібні, пудинги, муси).

Беручи до уваги те, що вживання продуктів для нутрітивної підтримки супроводжується вживанням великої кількості медикаментозних засобів, значна увага приділяється їх органолептичним показникам – смаковим властивостям, запаху, зовнішньому вигляду, консистенції. На думку практикуючих лікарів, найбільш оптимальним для разового споживання є використання продукту в об'ємі 0,2–0,3 л, але залежно від конкретної ситуації, індивідуальних особливостей і потреб, стану здоров'я хворого кількість продукту може варіюватися. При цьому у відділеннях реанімації для медичного персоналу доцільніше з погляду дозування й дотримання підвищених вимог щодо безпечності використовувати великі ємкості продукту (переважно в рідкій формі), які забезпечують добові потреби хворого у необхідних макро- та мікронутрієнтах. А для безпосереднього використання хворими оптимальним є дрібноштучна упаковка, що вміщує кількість продукту для разового споживання.

Анкета для вивчення потреб та вподобань споживачів (пацієнтів) цієї категорії продуктів містила такі питання: персональна інформація (вік, стать, рівень доходів), вид ураження, захворювання, джерела інформації про продукти, власний досвід щодо їх споживання, критерії вибору продуктів, уподобання щодо форми, органолептичних показників, пакування продуктів, зручності споживання та зберігання тощо.

В анкетуванні взяли участь 149 хворих та поранених, віком від 19 до 72 років, із яких 94 чоловіків та 55 жінок; середній рівень доходів опитаних становить близько 2,7–5,4 тис. грн/міс. Серед опитаних хворі хірургічного профілю, зокрема 37 – з гнійними ускладненнями травматичних та вогнепальних ран, 22 – із переломами кісток, 41 – з вогнепальними пораненнями, 29 – із пораненнями мінно-вибуховою травмою, 8 – із термічними травмами (опіки середнього та легкого ступеня важкості), 12 – діабетичними гнійними ускладненнями.

Встановлено, що 128 респондентів (86 %) обізнані з властивостями продуктів для ентерального харчування та ефективністю їх використання під час лікування та реабілітації. Основними джерелами надходження інформації про продукти для цільового контингенту опитаних були: лікуючий персонал (89), знайомі особи (18), Інтернет (21), спеціальна література (11), рекламні матеріали про продукцію (6) та інше (4) (рис. 3).

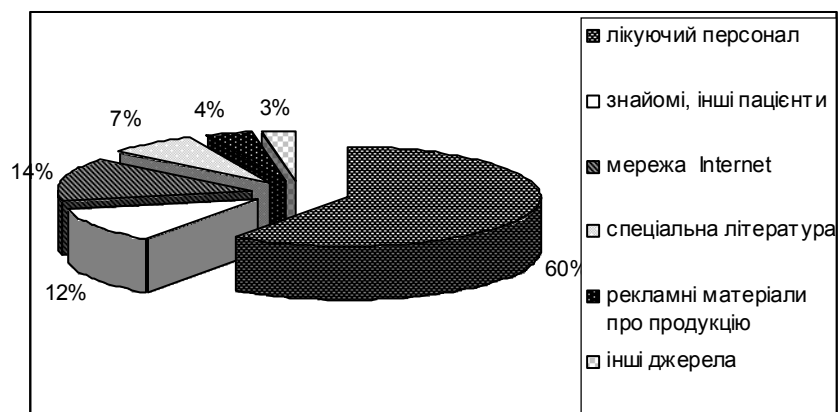


Рис. 3. Основні джерела надходження інформації про продукти для ентерального харчування

Встановлено, що 121 респондент (81,2 %) особисто вживали продукти для ентєрального харчування, переважна більшість опитаних відзначають позитивний ефект від їх споживання. Причому 97 % опитаних споживали стандартні сухі суміші для нутритивної підтримки, які не враховують особливостей метаболічних процесів хворих при певних захворюваннях. 110 пацієнтів (73,8 %) вважають за необхідне включення спеціального харчування в раціони протягом лікувального періоду як додаткове джерело поживних речовин. Більшість (90,6 %) зазначили доцільність споживання таких продуктів як основного джерела енергії лише за умови повного унеможливлення вживання звичайної їжі (критичний стан, до- та післяопераційний період, порушення акту ковтання та ін.).

Визначено, що визначальними чинниками під час вибору продуктів були рекомендації лікарів, позитивні відгуки про продукцію, можливість її придбання доступними способами (аптечна мережа, замовлення через Інтернет) та прийнятна вартість. Серед торговельних марок, продукцію яких споживали опитані, було названо Nestle (Швейцарія) (41 %), Fresenius Kabi (Німеччина) (33 %), Danone (Нідерланди) (14 %), Humana (Німеччина) (12 %).

Дослідження засвідчили, що респонденти очікують від споживання продуктів для ентєрального харчування відновлення ресурсів організму (85), пришвидшення проходження етапів лікування та реабілітації (47), покращення лікувального ефекту за рахунок повноцінного забезпечення метаболічних потреб організму у необхідних поживних речовинах (17).

Під час проведення анкетування особлива увага була приділена вивченню органолептичних уподобань цільової категорії споживачів продуктів для ентєрального харчування. Найбільш важливим органолептичним показником, що може варіюватися під час розроблення досліджуваної продукції, визначено смак. Так, при визначенні смакових уподобань цільової аудиторії переважна більшість опитаних (74,5 %) віддали перевагу солодкувато-кислому смаку, 29 респондент (19,4 %) – солодкувату та 9 (6,1 %) – кислому.

Під час анкетування встановлено, що більшість респондентів (73 %) оптимальною для разового споживання вважають кількість 0,25–0,3 л. За результатами проведеного анкетування з'ясовано, що найбільш зручною формою для споживання є сухі розчинні продукти. 67 осіб визначили цю форму випуску оптимальною, 45 опитаних віддали перевагу рідкій формі. Також 37 респондентів висловили побажання споживати продукти у драглеподібній формі, пудинги, муси.

Щодо виду пакування, то для респондентів під час споживання сухих розчинних продуктів для ентєрального харчування максимально зручним є пакети з металізованої фольги (77,2 %), банки із полімерних матеріалів із кришками (13,4 %), пакети із полімерних матеріалів (9,4 %), а під час споживання продукту у рідкій формі бажаним видом пакування визначено пластикові пакети – 73,1 %, пляшки марки ПЕТ – 26,8 %.

**Висновки і пропозиції.** Таким чином, у результаті проведення досліджень щодо вивчення вимог та уподобань медичних фахівців та безпосередніх споживачів (хворих, що перебувають на лікуванні у медичних закладах) до продуктів для ентєрального харчування, визначено, що наявний асортимент представлених на ринку України продуктів не задовольняє повною мірою вимог фахівців та очікувань споживачів, що підтверджує своєчасність та нагальність розроблення продуктів вітчизняного виробництва.

Отримані результати анкетування дали можливість сформулювати критерії оптимізації складу продуктів, визначити потреби у продуктах цієї групи й побажання щодо їх споживних властивостей. Ці дані були використані під час розроблення нових продуктів для ентєрального харчування вітчизняного виробництва з урахуванням специфіки певного захворювання.



**Список використаних джерел**

1. Щербакова Г. Н. Энтеральное питание в многопрофильном стационаре / Г. Н. Щербакова, А. А. Рагимов. – М. : Практическая медицина, 2010. – 112 с.
2. Хорошилов И. Е. Клиническая нутрициология / И. Е. Хорошилов, П. Б. Панов. – СПб. : ЭЛБИ-СПб, 2009. – 284 с.
3. Беляев О. В. Парентеральное и энтеральное питание в интенсивной терапии / О. В. Беляев. – К. : КИМ, 2009. – 344 с.
4. *The Market for Clinical Nutritional Products* / [compiler J. Nicole]. – Market Research, 2010. – Vol. 8. – 108 p.
5. Луфт В. М. Клиническое питание в интенсивной медицине / В. М. Луфт, А. Л. Костюченко. – СПб. : Диля, 2002. – 174 с.
6. Почепень О. Н. Нутритивная поддержка у тяжелообожженных / О. Н. Почепень. – Минск : БелМАПО, 2009. – 25 с.
7. *Adult Enteral and parenteral nutrition handbook* / A. Abad-Jorge, Le Banh M., Dadlani C. et al. – Charlottesville : University of Virginia health system, 2011. – 60 p.
8. *Bankhead R. Enteral nutrition practice recommendations task force* / R. Bankhead, J. Boullata, S. Brantley. – N.Y. : ASPEN, 2009. – 47 p.
9. *ESPEN guidelines on adult enteral nutrition* / H. Lochs, L. Valentini, S. Allison et al. // *Clinical Nutrition*. – 2006. – № 25. – P. 177–360.
10. *Mirtallo J. Safe practices for enteral nutrition* / J. Mirtallo, T. Chanada, D. Johnson // *Journal of parenteral and enteral nutrition*. – 2011. – Vol. 28. – P. 171–189.
11. *Zurita V. Nutritional support in trauma* / V. Zurita, D. Rawls, W. Dyck // *Dig. Dis*. – 1995. – Vol. 503. – P. 92–107.

УДК 613.2.032.35

**А.О. Нездолій**, аспірант

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

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЦУКЕРОК ДЛЯ ЛЮДЕЙ  
ІЗ СТАТИКО-ФІЗИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ**

**А.О. Нездолій**, аспірант

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНФЕТ ДЛЯ ЛЮДЕЙ  
СО СТАТИКО-ФИЗИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ**

**Andrii Nezdolii**, PhD student

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

**THE RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF SWEETS FOR PEOPLE  
WITH STATIC-PHYSICAL LOADS**

*Досліджено органолептичні та фізико-хімічні показники якості нових цукерок для людей із статико-фізичними навантаженнями. Також проведено дослідження щодо визначення якісного та кількісного складу макронутрієнтів у цих виробках, на основі яких визначено їх енергетичну цінність. Представлено результати якісного компонентного складу розроблених цукерок.*

**Ключові слова:** цукерки для людей із статико-фізичними навантаженнями, органолептичні властивості, макронутрієнти.

*Исследованы органолептические и физико-химические показатели качества новых конфет для людей со статико-физическими нагрузками. Также проведены исследования по определению качественного и количественного состава макронутриентов в этих изделиях, на основании которых определена их энергетическая ценность. Представлены результаты качественного компонентного состава разработанных конфет.*

**Ключевые слова:** конфеты для людей со статико-физическими нагрузками, органолептические свойства, макронутриенты.

*The organoleptic and physico-chemical indexes of new sweets for people with static-physical loads are researched. Also the researches of quantities and qualitative content of macronutrients in these products are presented. Basing on its results the energetic value is identified. The results of qualitative component content of developed sweets are presented.*

**Key words:** sweets for the people with static-physical loads, organoleptic properties, macronutrients.

**Постановка проблеми.** Здоровий спосіб життя та профілактика професійних хвороб без медикаментозного втручання стали трендом сучасного суспільства. До теперішнього часу основним напрямом у галузі розроблення і виробництва функціональних продуктів було створення високобілкових і вуглеводно-білкових сумішей, що мають вузьконаправлений вплив [1]. Рациональне харчування, яке забезпечує споживання необхідної, науково обгрунтованої кількості поживних речовин, особливо важливе для військовослужбовців, які за родом своєї діяльності піддаються підвищеним фізичним навантаженням [2; 3], у тому числі суттєвим статико-фізичним навантаженням на суглоби та опорно-руховий апарат у цілому. Споживання функціональних продуктів є загальноприйнятною практикою у світі.

На жаль, в Україні розроблення функціональних продуктів для військовослужбовців знаходиться на початковому рівні, тому необхідність розроблення та наукового обгрунтування дієвих заходів, спрямованих на забезпечення раціону харчування військовослужбовців усіма необхідними компонентами їжі для оптимального функціонування організму, є актуальною проблемою сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у розроблення та вдосконалення забезпечення харчових потреб людей із підвищеними навантаженнями, основ створення функціональних продуктів зробили вітчизняні та зарубіжні вчені С.І. Abuajah, В. Goetzke, Н.У. Humpf, В.Г. Белкін, Н.Г. Горська, Т.А. Каленик, В.А. Тутьельян, Р.І. Шаззо, П.О. Карпенко.

Науковцями кафедри товарознавства та експертизи харчових продуктів Київського національного торговельно-економічного університету було розроблено вітчизняні цукерки для осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням. Новизну технічних рішень підтверджено двома патентами України на корисну модель: «Цукерки спеціального призначення для харчування спортсменів» (патент № 88111 від 25.02.14), «Функціональний топінг для харчування спортсменів» (патент № 88113 від 25.02.14).

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Одним із етапів розроблення харчових продуктів є аналіз готового продукту, за яким визначаються показники якості, проводяться визначення якісного та кількісного вмісту активних інгредієнтів, встановлюється термін придатності. Під час розроблення функціональних продуктів важливо врахувати вимоги до активних речовин, що зумовлюють направленість на задоволення потреб організму осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням з проявами втоми [4; 5]. З метою вивчення показників якості розроблених цукерок було проведено дослідження органолептичних та фізико-хімічних показників, вмісту макронутрієнтів. Додатково, на основі одержаних результатів встановлено енергетичну цінність розроблених продуктів.

**Мета статті** – дослідження якості розроблених цукерок для людей з тривалим статико-фізичним навантаженням за комплексом органолептичних та фізико-хімічних показників, вмісту макронутрієнтів.

**Виклад основного матеріалу.** Експериментальні дослідження проводились поетапно на базі дослідних лабораторій кафедри товарознавства й експертизи харчових продуктів Київського національного торговельно-економічного університету згідно з поставленими завданнями.

Відбір проб і підготовку для лабораторних досліджень проводили відповідно до ДСТУ 4619:2006 «Вироби кондитерські. Правила приймання, методи відбору та підготовки проб» [6]. Органолептичні показники цукерок визначали згідно з ДСТУ 4683:2006 «Вироби кондитерські. Методи визначення органолептичних показників якості, розмірів, маси нетто і складових частин» [7] за розробленою 5-бальною шкалою. Масову частку вологи визначали арбітражним методом висушування до пос-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тійної маси відповідно до ДСТУ 4910:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин» [8]. Загальний вміст білків, ліпідів, вуглеводів визначено згідно з загальноприйнятими методами [9]. Дослідження осмотичних властивостей вивчали методом діалізу крізь напівпроникну мембрану (целофанова плівка марки В-8079). Якісне визначення цукрів здійснювали за ГОСТ Р 50549-93 «Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнара» [8]. Кількісне визначення L-карнітину та глюкозаміну в цукерках проводили методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) на рідинному хроматографі «Agilent 1100», визначення вмісту лимонної кислоти – методом потенціометричного титрування до рН = 8,1 досліджуваного зразка 0,1 % розчином натрію гідроксиду. Контролем слугували цукерки неглазуровані желейні «Желейка» виробництва ТОВ «АВК».

Органолептичні властивості є важливою складовою якості харчових продуктів, саме ними керуються споживачі під час вибору того чи іншого продукту. Тому основну увагу приділено органолептичному оцінюванню розроблених цукерок для осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням.

Для оцінювання органолептичних властивостей розроблених продуктів розроблено 5-балову шкалу, відповідно до якої оцінки цукерок поділяються на відмінні, добрі, задовільні, незадовільні та дуже погані. Методом ранжирування визначено коефіцієнти вагомості кожного показника в загальному органолептичному оцінюванні (табл. 1).

Таблиця 1

*Шкала балового оцінювання органолептичних показників якості цукерок для осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням*

Показники	Коефіцієнт вагомості	Бали				
		5 (відмінно)	4 (добре)	3 (задовільно)	2 (незадовільно)	1 (дуже погано)
Зовнішній вигляд	0,2	Корпус цукерки пружний та еластичний, на зламі однорідний, блискучий без сторонніх включень. Зберігає форму під час деформацій, поверхня не липка		Корпус пружний, погано зберігає форму під час деформацій, на зламі однорідний, блискучий без сторонніх включень	Корпус не пружний, поверхня липка, на зламі однорідний, каламутний, без сторонніх включень	Корпус пластичний текучий, поверхня липка та залишається на пальцях, на зламі неоднорідний каламутний, помічаються сторонні включення
Смак	0,5	Гармонійний, солодко-кислий, характерний	Гармонійний, солодкий	Кислий або приторно солодкий	Невиражений, з незначним стороннім присмаком	Невиражений, зі значним стороннім присмаком
Запах	0,3	Ледь відчутний, характерний сировині	Нехарактерний, сторонній запах	Неприємний, сторонній запах	Різкий, неприємний, сторонній запах	Ледь відчутний, характерний сировині

Органолептичні властивості досліджуваних розроблених цукерок визначались дегустаційною комісією з числа науковців кафедри товарознавства та експертизи харчових продуктів КНТЕУ. Результати зведених дегустаційних оцінок та розрахунок загального показника якості цукерок наведено в табл. 2.

Таблиця 2

*Зведене дегустаційне оцінювання органолептичних властивостей цукерок для осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням*

Зразок	Зовнішній вигляд	Смак	Запах	Загальний показник якості
	Коефіцієнт вагомості			
	0,2	0,5	0,3	
Розроблені цукерки	4,8±0,21	5,0±0,25	4,7±0,23	4,88
Контроль	4,9±0,19	3,0±0,16	4,5±0,21	3,87

За результатами дегустаційного оцінювання встановлено, що розроблені цукерки для осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням мають привабливий зовнішній вигляд, характеризуються збалансованими смаковими та ароматичними властивостями, корпус цукерок правильної форми, однорідний, без сторонніх включень, блискучий на зламі. В порівнянні з контрольним зразком розроблені цукерки для осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням мають достатньо виражений солодко-кислий смак, що пояснюється відсутністю у рецептурі будь-яких ароматизаторів та підсилювачів смаку. Досліджені зразки характеризувались натуральним ароматом, властивим для основної сировини.

За результатами проведених досліджень встановлено, що за органолептичними показниками цукерки для осіб з тривалим статико-фізичним навантаженням, до складу яких входить глюкозамін та L-карнітин, мають високий загальний показник якості (4,88), у той час як аналогічний показник контрольного виробу становить 3,87.

Результати експериментальних досліджень розроблених виробів щодо масової частки вологи та осмотичної активності, що є головними фізико-хімічними показниками якості желейних цукерок, представлено у табл. 3.

Таблиця 3

*Результати досліджень масової частки вологи та осмотичної активності*

Показник	Норми згідно з ТУ	Фактичний вміст
Масова частка вологи	18,5	18,5
Осмотична активність	До 60 %	53 %

Таким чином, практично встановлено, що масова частка вологи у розроблених цукерках становить 18,5 %, у той час як у контролі вона становить 18,7 %. Результати дослідження осмотичної активності дають змогу резюмувати відповідність встановленій нормі ТУ.

Основним фактором, що обумовлює харчову цінність продуктів, є вміст у них макронутрієнтів. З огляду на це розроблені продукти були досліджені на вміст білків, ліпідів, вуглеводів. Результати представлені у табл. 4.

Таблиця 4

*Вміст основних нутрієнтів у розроблених сухих продуктах, %*

$P \geq 0,95, n=15$

Нутрієнти	Досліджені цукерки	
	Розроблені цукерки (з L-карнітином та глюкозаміном)	Контроль
Білки	4,41±0,26	не виявлено
Ліпіди	0,11±0,06	0,32±0,05
Вуглеводи	53,68±0,44	77,32±0,48

Виходячи із наведених результатів, розроблені продукти містять у своєму складі білки, у той час як у контролі їх не виявлено. Нові цукерки містять меншу кількість ліпідів (майже втричі) та вуглеводів (на маже 23,5%). Також отримані дані дають змогу встановити енергетичну цінність досліджених виробів. Так, для розроблених цукерок вона становить майже 233 ккал/100 г, контролю – близько 311 ккал/100 г.

Також було проведено дослідження кількісного визначення компонентів розроблених цукерок, результати яких представлені в табл. 5

*Кількісні показники якості цукерок*

Показник	Норми згідно з ТУ	Фактичний вміст
Сахароза	675–825 мг/г	750 мг/г
Лимонна кислота	5,625–6,875 мг/г	6,25 мг/г
Глюкозаміну	18–22 мг/г	20 мг/г
L-карнітину	22,5–27,5 мг/г	25 мг/г

Одержані дані дають змогу констатувати підвищену біологічну цінність та функціональну направленість розроблених продуктів.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень органолептичних властивостей розроблених цукерок із функціональною направленістю (для мінімізації дії статикофізичних навантажень) встановлено високий рівень якості розроблених продуктів (4, 7–5 балів) за рахунок виражених та збалансованих смаку та післясмаку, гармонійних зовнішнього вигляду, консистенції, запаху та кольору.

Результати досліджень масової частки вологи та осмотичної активності у нових цукерках свідчать про їх відповідність нормативній базі.

Результати досліджень якісного та кількісного вмісту нутрієнтів свідчать про більш високу біологічну цінність розроблених цукерок (передусім за рахунок наявності білка та біологічно-активних речовин). Водночас, необхідно зауважити про нижчу енергетичну цінність нових виробів порівняно з контролем.

Перспективами подальших досліджень є більш детальне дослідження споживчих властивостей розроблених продуктів із функціональною направленістю, їх показників безпечності та якості, зокрема харчової та біологічної цінності.

**Список використаних джерел**

1. Микрюкова Н. В. Роль функціональних продуктів в раціональному питанні / Н. В. Микрюкова // Торгово-економ. пробл. регион. бизнес-пространства. – 2013. – № 1. – С. 376–378.
2. Бегма В. Економіко-математична модель раціонального харчування військовослужбовців в умовах обмеженого фінансування Збройних Сил України / В. Бегма, А. Сизов // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Військово-спеціальні науки. – 2013. – Вип. 31. – С. 37–39.
3. Сизов А. І. Модель раціонального харчування військовослужбовців в умовах проведення часткової мобілізації Збройних Сил України / А. І. Сизов, О. В. Жогіна // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем : зб. наук. праць. – К., 2014. – Вип. 19. – С. 321–329.
4. Баранова И. И. Сравнительная характеристика реопараметров гелеобразователей различного происхождения / И. И. Баранова, С. Н. Запорожская // Запорожский медицинский журнал. – 2008. – № 4. – С. 81–84.
5. *Нормативні документи МОЗ України. Стандартизація фармацевтичної продукції.* – К. : МОЗ України, 2012. – 728 с.
6. *ДСТУ 4619:2006.* Вироби кондитерські. Правила приймання, методи відбору та підготовки проб. – Введ. 2006–07–01. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 8 с.
7. *ДСТУ 4683:2006.* Вироби кондитерські. Методи визначення органолептичних показників якості, розмірів, маси нетто і складових частин. – Введ. 2007–01–01. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 16 с.
8. *ДСТУ 4910:2008.* Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин. – Введ. 2009–01–01. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 6 с.
9. *Лабораторный практикум по общей технологии пищевых производств* / А. А. Виноградова, Г. М. Мелькина, Л. А. Фомичева [и др.] ; под ред Л. П. Ковальской. – М. : Агропромиздат, 1991. – 335 с.
10. *ГОСТ Р 50549-93.* Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнона. – Введ. 1994–01–01. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 9 с.

## РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 519.6:697.953:004.94

**Н.Н. Беляев**, д-р техн. наук

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск, Украина

**С.Г. Цыганкова**, ассистент

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск, Украина

### CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОИОННОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ

**М.М. Біляєв**, д-р техн. наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна

**С.Г. Циганкова**, асистент

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», м. Дніпропетровськ, Україна

### CFD МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОІОННОГО РЕЖИМУ В ПРИМІЩЕННЯХ

**Nikolay Belyaev**, Doctor of Technical Sciences

National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, Ukraine

**Svetlana Tsygankova**, assistant

State Higher Educational Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Dnipropetrovsk, Ukraine

### CFD SIMULATION OF AIR ION REGIME IN THE PREMISES

*Разработана численная CFD модель для прогноза аэроионного режима в офисных помещениях при искусственной ионизации воздуха, осуществляемой путем установки ионизатора внутри помещения. При моделировании учитывалось влияние геометрических характеристик рабочей зоны, местоположения отверстий приточно-вытяжной вентиляции, расстановки мебели и оборудования, места расположения ионизатора, режима воздухообмена в помещении, наличия препятствий на процесс рассеивания аэроионов, конкретного места эмиссии частиц пыли и ионов различной полярности и их взаимодействия в помещении и в рабочих зонах.*

**Ключевые слова:** CFD модель, аэроионный режим, концентрационное поле аэроионов, искусственная ионизация.

*Rozrobлено чисельну CFD модель для прогнозу аероіонного режиму в офісних приміщеннях при штучній іонізації повітря, що здійснюється завдяки установці іонізатора всередині приміщення. Під час моделювання враховувался вплив геометричних характеристик робочої зони, місця розташування отворів припливно-витяжної вентиляції, розміщення меблів і устаткування, місця розташування іонізатора, режиму повітрообміну в приміщенні, наявності перешкод на процес розсіювання аероіонів, конкретного місця емісії частинок пилу й іонів різної полярності та їх взаємодії у приміщенні і в робочих зонах.*

**Ключові слова:** CFD модель, аероіонний режим, концентраційне поле аероіонів, штучна іонізація.

*A numerical CFD model for the prognosis of air ion regime in offices in the artificial air ionization, which is realized by install the ionizer indoors, is developed. Influence of the working area geometric characteristics, location of the ventilation holes, placement of furniture and equipment, the locations of the ionizer, ventilation regime in the room, presence of obstacles on the ions dispersion process, the specific location of dust particles emission and ions of different polarity and their interaction in premises and working areas taken into account at the simulation.*

**Key words:** CFD model, air ions regime, concentration field of air ions, artificial ionization

**Постановка проблемы.** В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам обеспечения комфортного состава воздушной среды в помещениях офисного и производственного назначения, о чем свидетельствует возросшее число публикаций, посвященных данному вопросу. В свою очередь, для расчета аэроионного режима в помещениях необходимы эффективные методики, позволяющие определять концентрацию аэроионов в любом месте помещения, и соответственно, получать адекватную информацию, дающую возможность обосновать конкретный режим ионизации и рациональное расположение ионизаторов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В Украине для расчета аэроионного режима в основном применяются аналитические модели, позволяющие определять концентрацию аэроионов [4–12]. Однако при разработке таких моделей не учиты-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ваются наличие в помещении мебели и оборудования, источников выброса пыли и т. д., то есть различных физических факторов, влияющих на процесс переноса аэроионов. Для более точного определения концентрационных полей аэроионов в помещении необходимо применение CFD моделей [2; 3; 13; 16], позволяющих учесть аэродинамику воздушных потоков в помещении, что является важнейшим фактором при исследовании процессов рассеивания примесей в помещениях [15].

**Цель статьи.** Целью данной работы является создание численной CFD модели для расчета концентрационных полей аэроионов в помещениях различного назначения, учитывающей при моделировании физические процессы, влияющие на формирование концентрационного поля аэроионов, размещение мебели, оборудования в помещении, местоположение источников эмиссии пыли, расположение вентиляционных отверстий и т. д.

**Изложение основного материала.** На формирование концентрационного поля аэроионов в помещении влияет комплекс физических факторов: вызванный работой вентиляции поток воздуха, диффузия, воздействие электрического поля. Помимо этого, ионы различной полярности взаимодействуют друг с другом и с частицами пыли. Для учета этих процессов, при моделировании рассеивания аэроионов, будем использовать уравнение переноса в виде [16]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u + bE)C}{\partial x} + \frac{\partial(v + bE)C}{\partial y} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \alpha CB - \\ & - \beta CD + \sum Q_c(t) \delta(x - x_c) \delta(y - y_c), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C$ ,  $B$ ,  $D$  – концентрация отрицательных, положительных аэроионов и частиц пыли соответственно;  $u$ ,  $v$ , – компоненты вектора скорости движения воздушного потока в помещении;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты диффузии;  $t$  – время;  $\alpha$  – скорость рекомбинации ионов, имеющих различную полярность;  $\beta$  – скорость рекомбинации ионов с частицами пыли;  $Q_{ci}$ , – интенсивность эмиссии отрицательных ионов в соответствующих точках с координатами  $x_c$ ,  $y_c$ ;  $\delta(x - x_i)\delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $b$  – коэффициент мобильности ионов;  $E$  – напряженность электрического поля.

Отметим, что ось  $Y$  направлена вертикально вверх.

Поскольку аэроионы имеют заряд, то они генерируют электрическое поле  $E$ , которое описывается следующим уравнением [16]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость;  $q_e$  – плотность объемного заряда.

От уравнения (2) можно перейти к скалярному потенциалу, если учесть такую зависимость

$$E_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial \phi}{\partial y}. \quad (3)$$

Тогда получим уравнение Пуассона следующего вида [16]

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q_e}{\epsilon_0}, \quad (4)$$

где  $q_e = -eC(x, y)$ ,  $C(x, y)$  – концентрация отрицательных аэроионов;  $\phi$  – скалярный потенциал;  $e$  – элементарный заряд. На базе данного уравнения осуществляется моделирование электрического поля.

Для описания процессов рассеивания положительных ионов и пыли будем использовать уравнение переноса вида [16]:

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial uB}{\partial x} + \frac{\partial vB}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial B}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial B}{\partial y} \right) - \alpha CB - \beta BD + \sum Q_B(t) \delta(x - x_B) \delta(y - y_B), \quad (5)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \sum Q_{Di}(t) \delta(x - x_{Di}) \delta(y - y_{Di}). \quad (6)$$

Обозначение физических параметров в этих уравнениях совпадает с аналогичными обозначениями, приведенными для уравнения (1).

Для расчета аэродинамики воздушных потоков в помещении будем применять модель потенциального течения. Моделирующим уравнением в этом случае будет уравнение Лапласа для потенциала скорости

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (7)$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости воздушной среды связаны с потенциалом скорости следующими зависимостями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (8)$$

Постановка краевых условий для моделирующих уравнений рассмотрена в [1; 13; 16].

Для численного интегрирования уравнений переноса используется неявная попеременно-треугольная разностная схема, реализуемая по методу бегущего счета [1]. Для численного решения уравнения Лапласа применяется схема суммарной аппроксимации. Для решения уравнения Пуассона применяется метод Либмана. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке.

На основе данных разностных схем разработан пакет программ (код) «ION-2а». Данный пакет построен на модульном принципе, каждая подпрограмма реализует численное интегрирование конкретного моделирующего уравнения и реализацию соответствующих граничных условий.

Особенностью моделируемого процесса является наличие в помещении мебели, т. е. объектов, влияющих на формирование концентрационного поля ионов. Для «воспроизведения» этих и других объектов в численной модели используется технология «*porosity technique*», называемая также методом маркирования [1]. Суть данной технологии заключается в кодировке разностных ячеек, которые относятся к таким объектам и реализацией в них соответствующих граничных условий.

**Результаты.** Разработанная численная модель была применена для решения задачи о прогнозе концентрационного поля отрицательных аэроионов в офисном помещении и



в его рабочей зоне в условиях искусственной ионизации воздуха, организованной с помощью установки ионизатора непосредственно внутри помещения.

На рис. 1 представлена схема расчетной области – помещения, в которое поступает воздух через одно отверстие системы вентиляции. Выход воздуха из помещения происходит через отверстие на противоположной стенке. Рабочая зона представлена рабочим местом (стул и стол), перед и за рабочим местом расположены стеллажи. Ионизатор располагается на крайнем левом стеллаже. При моделировании учитывается скорость выхода ионизированной струи воздуха.

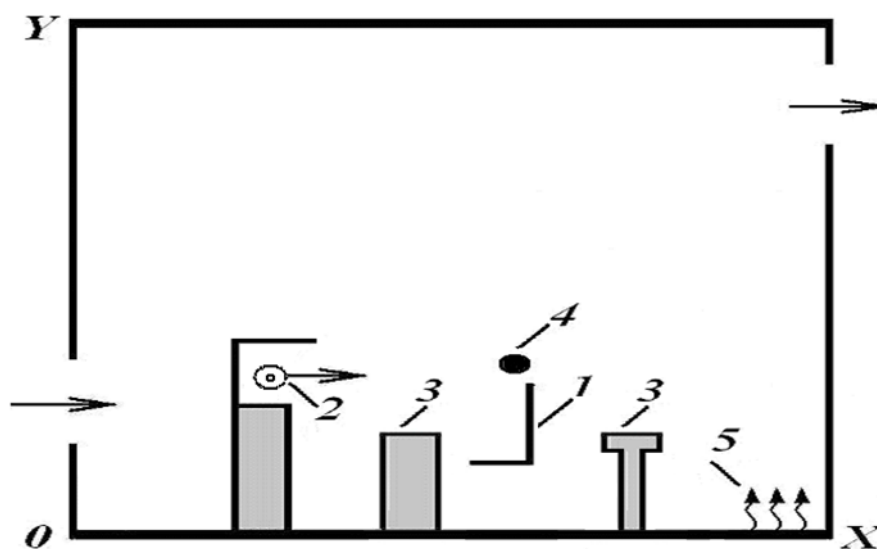


Рис. 1. Схема расчетной области: 1 – стул; 2 – ионизатор воздуха; 3 – стеллажи; 4 – место эмиссии положительных ионов (положение органов дыхания); 5 – место эмиссии пыли

Источником эмиссии положительных ионов в помещении является человек, поэтому в зоне расположения его органов дыхания (рис. 1, позиция 4) задается точечный источник эмиссии положительных ионов с интенсивностью  $Q_B = 7 \times 10^5$  частиц/с. Остальные параметры задачи таковы: размеры расчетной области  $12,25 \times 3,50$  м; положение входного и выходного отверстий вентиляции показано стрелками на рис. 1;  $\alpha = 1,5 \times 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с,  $\beta = 1 \times 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с [13; 16]; коэффициенты турбулентной диффузии по всем направлениям приняты равными  $\mu_x = \mu_y = kV$  (здесь  $k = 0,1$  – параметр,  $V$  – местная скорость в конкретной расчетной точке, эта скорость определяется из решения аэродинамической задачи). В помещении происходит эмиссия пыли,  $Q_{Di} = 52 \times 10^6$  частиц/с (положение выброса пыли показано на рис. 1 волнистой линией). Скорость вдува ионизированной струи составляет 0,3 м/с, концентрация отрицательных ионов в этой струе  $25 \times 10^9$  частиц/м<sup>3</sup>. Таким образом, в данной задаче учитывается аэродинамика взаимодействия вентиляционного потока воздуха со струей ионизированного воздуха.

Цель численного моделирования – определить концентрацию отрицательных ионов в помещении и в зоне расположения органов дыхания человека.

Результаты численного моделирования показаны на рис. 2. На данном рисунке показано концентрационное поле отрицательных ионов внутри помещения.

Хорошо видна подзона с большим градиентом концентрации ионов возле ионизатора на стеллаже, то есть там, где выходит струя ионизированного воздуха. В рабочей зоне, там где размещена голова работника, концентрация отрицательных ионов составляет  $0,016 \times 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>, что соответствует принятым нормативам.

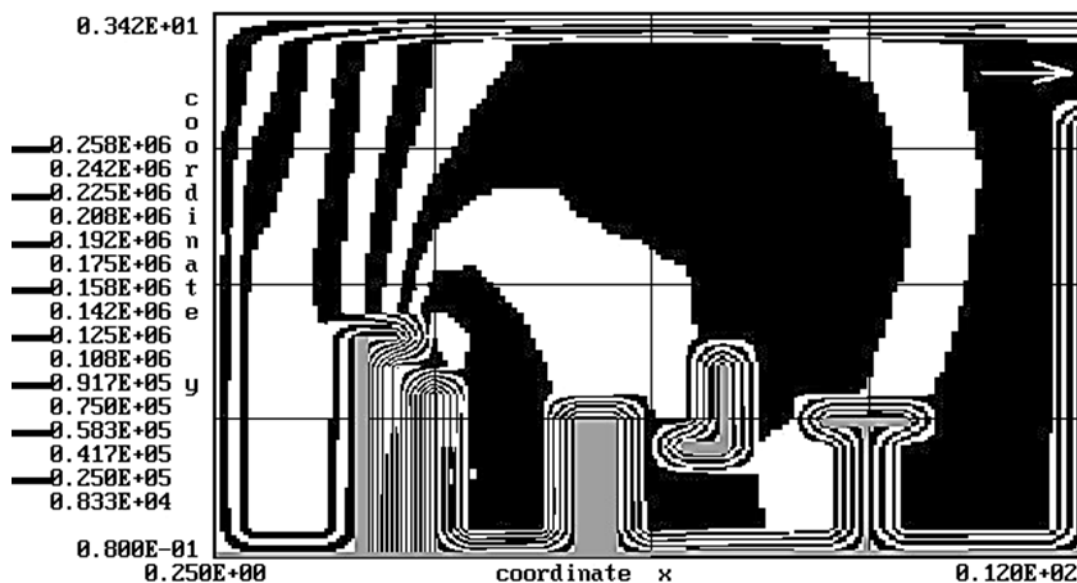


Рис. 2. Распределение концентрации отрицательных аэроионов в помещении

В заключение отметим, что для решения задачи на базе разработанной CFD модели потребовалось порядка 1 минуты компьютерного времени.

**Выводы.** Разработанная 2D CFD модель для расчета аэроионного режима в помещениях с искусственной ионизацией воздуха, осуществляемой путем установки ионизатора воздуха внутри помещения дает возможность определять концентрационное поле аэроионов в рабочих зонах с учетом физических процессов, влияющих на формирование концентрационного поля аэроионов, размещения мебели и оборудования в помещении, местоположения источников эмиссии пыли. Полученные результаты дают возможность обосновать конкретный режим ионизации и рациональное расположение ионизаторов. В дальнейшем развитие модели следует проводить в направлении создания 3D CFD модели расчета аэроионного режима в помещениях.

#### Список использованных источников

1. *Беляев Н. Н.* Защита зданий от проникновения в них опасных веществ : монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – 136 с.
2. *Беляев Н. Н.* Математическое моделирование аэроионного режима в помещении при искусственной ионизации воздуха / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Строительство, материаловедение, машиностроение : сборник научных трудов. Серия «Безопасность жизнедеятельности». – 2015. – Вып. 83. – С. 40–46.
3. *Беляев Н. Н.* Расчет аэроионного режима в помещении и в рабочей зоне на базе численной модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. – № 47. – С. 137–143.
4. *Визначення та прогнозування динаміки зміни аероіонного складу повітря виробничих приміщень* / В. А. Глива, В. І. Клапченко, С. М. Пономаренко та ін. // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». – 2010. – Вип. 19. – С. 161–168.
5. *Деякі аспекти забезпечення нормативного аероіонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення МНС України* / І. О. Толкунов, В. В. Маринюк, І. І. Попов, В. В. Пономар // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – № 8. – С. 198–206.
6. *Запорожець О. І.* Нормування аероіонного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник національного авіаційного університету. – 2011. – № 1. – С. 139–143.
7. *Запорожець О. І.* Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник національного авіаційного університету. – 2011. – № 2. – С. 120–124.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. *Левченко Л. О.* Тривимірне моделювання просторових розподілів концентрацій аероіонів у повітрі приміщень / Л. О. Левченко, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Управління розвитком складних систем. – 2012. – № 11. – С. 198–206.
9. *Моделирование* распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнахина, Д. В. Вертинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – № 1. – С. 30–36.
10. *Толкунов І. О.* Біполярна іонізація повітряного середовища приміщень функціональних підрозділів мобільного госпіталю МНС / І. О. Толкунов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – Вип. 14. – С. 161–170.
11. *Толкунов І. О.* Моделювання процесів формування полів концентрації аероіонів у повітряному середовищі приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, І. І. Попов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – Вип. 12. – С. 175–184.
12. *Толкунов І. А.* Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И. А. Толкунов, И. И. Попов, В. В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – Вип. 11. – С. 137–145.
13. *Air ion behavior* in ventilated rooms / L. A. Fletcher, C. J. Noakes, P. A. Sleight, C. B. Beggs, S. J. Shepherd // *Indoor and Built Environment*. – 2008. – Vol. 17, no. 2. – P. 173–182.
14. *Drexler P.* Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement / Petr Drexler, Pavel Fiala, Karel Bartusek // *Journal of Electrical Engineering*. – 2006. – Vol. 57. – № 8/S. – P. 62–65.
15. *Murakami S.* Computational wind engineering / S. Murakami // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 1990. – Vol. 36, Part 1. – P. 517–538.
16. *Noakes C. J.* Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms / Noakes C. J, Sleight P. A, Beggs C. // *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Air Distribution in Rooms*. – Roomvert 2007, 13–15 June 2007, Helsinki.

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ  
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ  
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у науковому журналі «Технічні науки та технології», який внесено до переліку наукових фахових видань, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р. № 747. З 2013 року входить до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU (ліцензійний договір № 246-04/2013 від 29 квітня 2013 року).

**Шановні дописувачі!**

Спочатку просимо надіслати Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів), оформлені за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології». Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до відділу науково-дослідної частини ЧНТУ.

1. Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком (Додаток А);
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів, заповнену за наведеним бланком (Додаток Б). Звертаємо Вашу увагу, що ім'я та по батькові автора (ів) **подаються повністю**;
- квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (Додаток В);
- згоду на публікацію у формі Договору про передачу права на використання твору (бланк Договору розміщено на сайті університету).

2. **Вимоги до наукової статті.** Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника.

Статтю можна подавати однією з трьох мов: українською, російською, англійською.

Обсяг статті повинен бути таким: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається у роздрукованому вигляді, а також 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 науковому журналі «Технічні науки та технології» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: *УДК. Автор (и). Назва статті. Анотації. Ключові слова. 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. Інформація про автора (ів).*

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** – *ім'я та прізвище* кожного автора починати з нового рядка (шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по центру, без абзацного відступу, напівжирний, курсив). **Дані про авторів подаються трьома мовами.**

**Назва статті** – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу, трьома мовами.

**Анотація** – шрифт Times New Roman (кегель 9), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг – 8–10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською. **Після анотації (кожною з мов) вказувати загальну кількість таблиць, рисунків та використаних джерел (Додаток А).**

**Ключові слова** – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. Ключові слова подаються трьома мовами. Кількість ключових слів – 5–7 (Додаток А).

**Основний текст** – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал).

**Розділи статті** (Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел) подаються таким шрифтом: Times New Roman, кегель 12, напівжирний, звичайний. Після назви розділу статті ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

**Обов'язково** у кінці статті подаються дані про авторів (трьома мовами):

- прізвище, ім'я та по батькові (повністю);
- науковий ступінь, вчене звання, посада автора (ів);
- місце роботи автора (ів) та адреса організації;
- електронна адреса автора (ів) (Додаток А).

**5.2. Інтервали між елементами статті такі:**

- УДК – автори – 0;
- автори – назва статті – 0;
- назва статті – анотація – 1;
- анотація – ключові слова – 0;
- 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. 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:

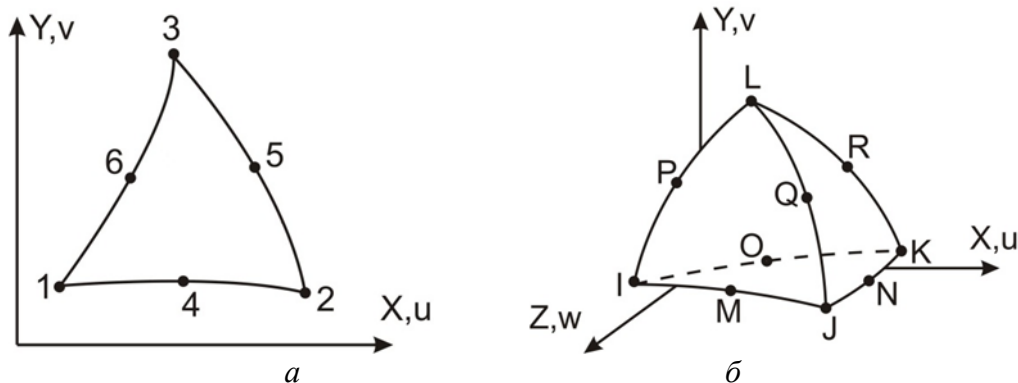


Рис. 3. Види скінченних елементів:

*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). Усі графи таблиць повинні мати назву.

Наприклад:

Таблиця 1

*Граничні значення режимів різання*

№ досл.	$V_K$ , м/с	$V_{дет} = V_K/60$	$t$ , мм	$Q_{гр}$ , мм <sup>2</sup> /с	$a_z$ , МКМ	$a_{z \max}$	$n/n_{рз}$
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 розшифрування 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 ( $a_z$ )<sub>max</sub>:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (1)$$

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

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

$a_2$ . Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфування в роботі [7].

**7. Список використаних джерел** необхідно складати за вимогами ВАК України (Бюлетень ВАК України № 5, 2009), розміщувати бібліографічні записи за алфавітом чи у послідовності їхніх перших згадувань в основному тексті статті.

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 журналі «Технічні науки та технології» 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](mailto:chntu.ndch@gmail.com).

*Науковий журнал «Технічні науки та технології» розміщено на сайті Чернігівського національного технологічного університету, де можна переглянути останні номери видання:*

<http://tst.stu.cn.ua/>

**Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.**  
**Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи, що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.**

УДК 621.3.05

**В'ячеслав Харжевський****МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ШЕСТИКРАТНИХ ВУЗЛІВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ  
ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ КРУГОВИХ НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ****Вячеслав Харжевский****МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕСТИКРАТНЫХ УЗЛОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ  
ДЛЯ СИНТЕЗА РЫЧАЖНЫХ КРУГОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ****Viacheslav Kharzhevskiy****METHOD OF SIXFOLD INTERPOLATION NODES DETERMINATION FOR  
THE SYNTHESIS OF CIRCULAR PATH GENERATING LINKAGE MECHANISMS**

Розглянуто питання синтезу важільних напрямних механізмів, ділянки шатунних кривих яких наближаються до дуги кола з високою точністю. Для проектування таких механізмів використані методи кінематичної геометрії шести нескінченно близьких положень механізму, що полягають у використанні шестикратних вузлів інтерполяції (точок Бурместера 5-го порядку), які математично забезпечують найвищий порядок дотику шатунної кривої шарнірного чотириланкового механізму до дуги кола в цій точці. Наведено аналітично-числовий метод визначення таких точок. Встановлено, що існують випадки, коли у шатунній площині існує лише одна точка Бурместера 5-го порядку, що може бути використана для проведення синтезу механізмів.

**Ключові слова:** важільні механізми, кругові напрямні механізми, синтез, шестикратні вузли інтерполяції, точки Бурместера 5-го порядку.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 14.

Рассмотрен синтез рычажных направляющих механизмов, участки шатунных кривых которых приближаются к дуге окружности с высокой точностью. Для проектирования таких механизмов использованы методы кинематической геометрии шести бесконечно близких положений механизма, в частности шестикратные узлы интерполяции (точки Бурместера 5-го порядка), которые математически обеспечивают наивысший порядок соприкосновения шатунной кривой шарнирного четырехзвенного механизма к дуге окружности в данной точке. Приведен аналитическо-численный метод определения таких точек. Установлено, что существуют случаи, когда в шатунной плоскости существует только одна точка Бурместера 5-го порядка, которая может быть использована для проведения синтеза механизмов.

**Ключевые слова:** рычажные механизмы, круговые направляющие механизмы, синтез, шестикратные узлы интерполяции, точки Бурместера 5-го порядка.

Рис.: 2. Табл.: 1. Библ.: 14.

The article is dedicated to the synthesis of path generating linkage mechanisms which coupler points trace coupler curves with the approximation of the defined parts to the arc of the circle. For the designing of such mechanisms the methods of the kinematic differential geometry of the six infinitesimally close positions of the mechanism were used, in particular – sixfold interpolation nodes (Burmester points of the 5<sup>th</sup> order of tangency) which mathematically provides the highest order of tangency between the coupler curve of the four-bar linkage mechanism and approximation arc in this point. The analytical and numerical method of the determination of these points is considered in the article. It was found the cases where there is only one Burmester point of the 5<sup>th</sup> order in the coupler plane can be used for the synthesis of mechanisms.

**Key words:** linkage mechanisms, circular path generating mechanisms, synthesis, sixfold interpolation nodes, Burmester points of the 5<sup>th</sup> order.

Fig.: 2. Tabl.: 1. Bibl.: 14.

**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. *Артоболевский И. И.* Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. *Бейер Р.* Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов / Р. Бейер. – М. : Машгиз, 1959. – 318 с.
3. *Геронимус Я. Л.* Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов / Я. Л. Геронимус. – М. : Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.
4. ....
5. ....

**Харжевський В'ячеслав Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри машинознавства, Хмельницький національний університет (вул. Подільська, 172, м. Хмельницький, 29001, Україна).

**Харжевский Вячеслав Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиноведения, Хмельницкий национальный университет (ул. Подольская, 172, г. Хмельницкий, 29001, Украина).

**Kharzhevskyi Viacheslav** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of mechanical engineering department, Khmelnytskyi National University (172 Podilska Str., 29001 Khmelnytskyi, Ukraine).

**E-mail:** vk@solidworks.net.ua

**Додаток Б***Бланк для оформлення довідки про автора***ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ**

Дані про авторів	Українською мовою	Російською мовою	Англійською мовою
Прізвище			
Ім'я			
По батькові			
Науковий ступінь			
Вчене звання			
Почесне звання			
Місце роботи			
Посада			
Назва статті			
Обсяг статті			
Поштова адреса, на яку необхідно надсилати примірник збірника			
Контактна інформація	роб. тел.		
	дом. тел.		
	моб. тел.		
	e-mail		

**ДО УВАГИ АВТОРІВ!**

Договір про передачу права на використання твору укладається на кожну статтю і надсилається поштою у паперовому вигляді з повністю заповненими автором (ами) твору реквізитами у 2-х примірниках (один для редакційної колегії, інший – для автора). Договір підписується ректором Чернігівського національного технологічного університету й один примірник повертається у паперовому вигляді автору (ам) твору поштою. Наявність Договору про передачу права на використання твору є обов'язковою умовою публікації наукових статей у наукових виданнях університету для всіх авторів.

**Додаток В**

*Бланк квитанції для оплати публікації*

Заява на переказ готівки	Дт	<input type="text" value="1002"/>	Ідентифікаційний код	<input type="text" value="05460798"/>	
	Кт	<input type="text" value="31254264106996"/>			
	Одержувач платежу	<u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>			
	Дата здійснення операції	_____			
	Дата валютування	_____			
			Код установи банку	<input type="text" value="820172"/>	
	Найменування установи банку	<u>ДКСУ</u>			
	Прізвище, ім'я, по-батькові платника	_____			
	Адреса платника	_____			
	Призначення платежу	_____ за видання у збірнику <b>25010100</b>			
Касир			Сума	<input type="text"/>	
	Загальна сума	_____ (словами)			
	Підпис платника	_____			
	Квитанція	Дт	<input type="text" value="1002"/>	Ідентифікаційний код	<input type="text" value="05460798"/>
		Кт	<input type="text" value="31254264106996"/>		
		Одержувач платежу	<u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>		
		Дата здійснення операції	_____		
		Дата валютування	_____		
				Код установи банку	<input type="text" value="820172"/>
		Найменування установи банку	<u>ДКСУ</u>		
Прізвище, ім'я, по-батькові платника		_____			
Адреса платника		_____			
Призначення платежу		_____ за видання у збірнику <b>25010100</b>			
Касир			Сума	<input type="text"/>	
	Загальна сума	_____ (словами)			
	Підпис платника	_____			

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

# ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ*

*№ 2 (2)*

Головний редактор	В.В. Казимир
Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Літературний редактор	Л.М. Сила
Коректор	О.С. Смєлова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко
	Т.В. Коваленко

Підписано до друку 07.12.2015. Формат 60x84/8. Друк різнографія.

Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 29,8.

Тираж 300 пр. Замовлення № 308/15.

---

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету  
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.