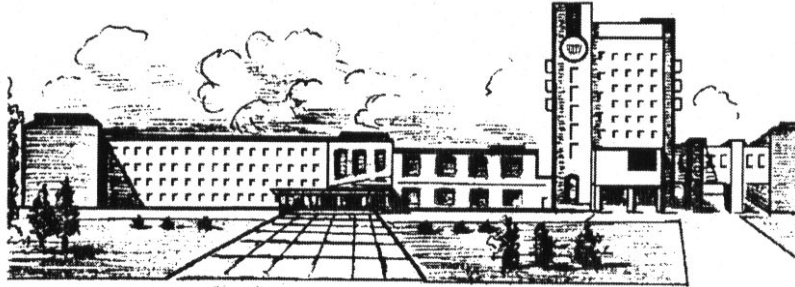


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

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



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (7)

Чернігів 2017

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6
Т38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 2 від 30.01.2017 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.

Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т, 2017. – № 1 (7). – 242 с.

Т38 У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: механіки та прикладної математики, технологій машинобудування та автотранспорту, зварювання та матеріалознавства, інформаційно-комп'ютерних технологій, енергетики, електротехніки та електроніки, технологій харчової та легкої промисловості, технологій будівництва 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;

Іванишин В. А., доктор геологічних наук, професор;

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;

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

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

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

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

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

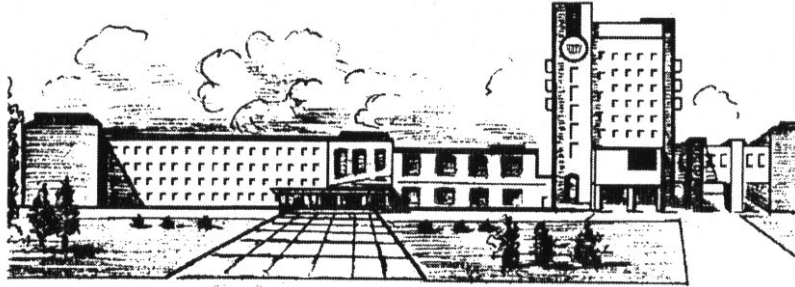
Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21269-11069 ПР від 12.03.2015.

© Чернігівський національний технологічний університет, 2017



ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

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



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 1 (7)

Chernihiv 2017

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 № 2 dated 30.01.2017). 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.

Technical sciences and technologies : scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2017. – № 1 (7). – 242 p.

This issue of the journal “Technical sciences and technologies” contains articles devoted to theoretical and experimental research in the field of technical sciences: mechanics and applied mathematics, engineering and vehicle technology, welding and materials science, information and computer technologies, energy, electrical engineering and electronics, food technologies And light industry, construction technologies and nature management. The articles are written by scientists, graduate students, undergraduates and students and are reviewed by leading scientists of higher technical educational institutions and institutions of the National Academy of Sciences of Ukraine.

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;

Ivanyshyn V.A., Doctor of Geological Sciences, 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;

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

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

<i>Проценко В.</i> Вплив конструктивних та експлуатаційних параметрів запобіжної профільної муфти на її характеристики.....	9
<i>Харжевський В.</i> Межі існування важільних двокривошипних механізмів із зупинкою вихідної ланки для чотирьох нескінченно близьких положень шатунної площини.....	16

РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Филоненко С.</i> Энергетические параметры акустической эмиссии при износе композиционного инструмента с неуправляемой глубиной резания.....	24
<i>Олійник С., Калафатова Л., Поколенко Д.</i> Аналітична модель механізму утворення сумарної похибки профілю виробів типу оболонки з крихких неметалевих матеріалів під час алмазного шліфування	33
<i>Пасов Г., Венжега В., Рудик А.</i> Навчальний симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з ЧПК	42
<i>Пугач Р.</i> Повышение качества поверхностей стальных изделий в результате применения смазочного противоизносного антифрикционного ремонтно-восстановительного состава	51

РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Болотов Г., Болотов М., Ганєєв Т., Корзаченко М.</i> Оцінка несучої здатності зварних з'єднань арматури залізобетону	58
<i>Яценко В., Фальченко Ю., Петрушинець Л., Клименко Ю., Новомлинець О.</i> Вплив факторів космосу на надлегку систему теплового захисту космічних апаратів: концепція, методи та аналіз ризиків	68
<i>Демецька О., Андрусишина І., Ткаченко Т., Лук'яненко А., Полукаров Ю.</i> Нанорозмірні фракції твердої складової зварювальних аерозолів, що утворюються під час зварювання покритими електродами зі зниженим вмістом хрому (VI).....	79

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Зацерковний В., Руль Н., Плічко Л., Кривоберець С.</i> Аналіз підходів щодо створення цифрових моделей рельєфу.....	87
<i>Казимир В., Посадська А.</i> Дослідження когнітивних карт методом імітаційного моделювання.....	98
<i>Литвинов В., Житник О.</i> Порівняльний аналіз засобів космічної зйомки з різною просторовою роздільною здатністю	106
<i>Акименко А., Нестеренко С.</i> UML-модель системи управління безпілотним авіаційним комплексом.....	116
<i>Гумен М., Гумен Т.</i> Телекомунікаційна система моніторингу газопроводів.....	125
<i>Рыжков А.</i> Разработка инновационной методологии управления проектами для глобального рынка образовательных услуг	134
<i>Трунова О.</i> Динамічна модель життєвого циклу компетенції.....	147
<i>Посадская И.</i> Архитектура базы знаний автоматизированной системы обучения.....	154
<i>Moravec M., Liptai P., Zbojovský J., Badidová A.</i> Assessment of the washing machines sound quality by the binaural measurement systems	161
<i>Stepashko V., Trachuk A.</i> Development of forecasting scenarios of the electricity consumption in Ukraine by using the group method of data handling	166

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

<i>Михайленко В., Петрученко О., Рокицький Р., Язенок Ю.</i> , Дослідження електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з двадцятичотиризонним регулюванням вихідної напруги	171
<i>Фесенко А., Єршов Р., Степенко С.</i> Огляд та обґрунтування вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів	177

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Соколовський Я., Криштапович В., Крошній І.</i> Закономірності впливу анізотропії механічних характеристик на в'язкопластичний стан деревини.....	187
<i>Воробйова В., Чигиринець О., Шакур А.</i> Порівняльна характеристика компонентного складу ізопропанольного та водно-ізопропанольного екстрактів вичавків винограду сорту <i>Vitislabrusca</i> × <i>Vitisviniifera</i>	200
<i>Буря А., Набережная О., Сучилина-Соколенко С.</i> ІК-спектральний аналіз самоармированих органопластиків.....	207
<i>Жулінська О., Свідло К.</i> Оцінка якості та безпечності функціональних харчових продуктів із застосуванням математичної моделі.....	217

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<i>Лана М., Двоглазова М., Печонкін І., Лана Ю.</i> Забезпечення енергоефективності будівель	225
<i>Золотарьова О., Мережко Н.</i> Атмосферостійкість просочених силосанами будівельних пористих нерудних матеріалів	234

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ

241

CONTENT

SECTION I. MECHANICS AND APPLIED MATHEMATICS

<i>Protsenko V.</i> Influence of design and operational parameters of the profile safety couplings at its characteristics.....	9
<i>Kharzhevskiy V.</i> The regions of existence of double-crank dwell linkage mechanisms for the four infinitesimally close positions of the coupler plane.....	16

SECTION II. MECHANICAL AND AUTOMOBILE ENGINEERING TECHNOLOGY

<i>Filonenko S.</i> Acoustic emission energy parameters at composite tool wear with a not controlled cutting depth.....	24
<i>Oliinyk S., Kalafatova L., Pokolenko D.</i> Analytical model of the mechanism of formation of total error of profile of shell type wares from brittle non-metal materials in diamond grinding.....	33
<i>Pasov H., Venzheha V., Rudyk A.</i> Training simulator of robotic technological complex on the basis of CNC lathe.....	42
<i>Puhach R.</i> Improving the quality of steel products surface as a result of anti-wear anti-friction lubricant repair and restorative composition.....	51

SECTION III. WELDING AND MATERIALS SCIENCE

<i>Bolotov G., Bolotov M., Hanieiev T., Korzachenko M.</i> Evaluation of the carrying capacity of reinforced concrete welded armature joints.....	58
<i>Yatsenko V., Falchenko Yu., Petrushynets L., Klymenko Yu., Novomlynets O.</i> Space factors influence on superlight-weight thermal protection system: concept, modeling, and risk analysis.....	68
<i>Demetska O., Andrusyshyna I., Tkachenko T., Lukianenko A., Polukarov Yu.</i> Nanosize fractions of the welding aerosol hard component that emit during welding operations using coated electrodes with reduced chromium (VI) content.....	79

SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Zatserkovnyi V., Rul N., Plichko L., Kryvoberets S.</i> Analysis of the approaches for creating digital elevation models.....	87
<i>Kazymyr V., Posadska A.</i> Researching the cognitive maps by simulation modeling.....	98
<i>Lytvynov V., Zhytnyk O.</i> Comparative analysis of different spatial resolution satellite with different imagery means.....	106
<i>Akymenko A., Nesterenko S.</i> UML-model control system unmanned aircraft systems.....	116
<i>Humen M., Humen T.</i> Telecommunication system of gas pipelines monitoring.....	125
<i>Ryzhkov A.</i> Development of innovative methodology for project management in global educational services market.....	134
<i>Trunova H.</i> Dynamic model of life cycle competence.....	147
<i>Posadska I.</i> Knowledge base architecture of automated educational system.....	154
<i>Moravec M., Liptai P., Zbojovský J., Badidová A.</i> Assessment of the washing machines sound quality by the binaural measurement systems.....	161
<i>Stepashko V., Trachuk A.</i> Development of forecasting scenarios of the electricity consumption in Ukraine by using the group method of data handling.....	166

**SECTION V. POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND
ELECTRONICS**

<i>Mihaylenko V., Petruchenko O., Rokytskyi R., Jazenok J.</i> , Research on the electric magnetic processes in semiconductor converter with twenty fourth zoned regulation of the output voltage.....	171
<i>Fesenko A., Yershov R., Stepenko S.</i> Overview and reasoning of storage batteries selection for autonomous power supply system based on photovoltaic converters.....	177

SECTION VI. TECHNOLOGIES OF FOOD AND LIGHT INDUSTRY

<i>Sokolovskyy Ya., Kryshchapovych V., Kroshnyy I.</i> Regularities of the influence of anisotropy of mechanical characteristics on the viscoelastic state of the wood	187
<i>Vorobyova V., Chygyrynets O., Shakun A.</i> Comparative characteristic of the component of isopropanol and water-isopropanol extract of grape-squeeze variety <i>Vitislabrusca</i> × <i>Vitisvinifera</i>	200
<i>Burya A., Naberezhnaya O., Suchylina-Sokolenko S.</i> IR-spectral analysis of self-reinforced organoplastic materials.....	207
<i>Zhulinska O., Svidlo K.</i> Assessment of the quality and safety of functional food products using mathematical models.....	217

**SECTION VII. CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
TECHNOLOGY**

<i>Lapa M., Dvoieglazova M., Pechonkin I., Lapa Yu.</i> Providing of buildings energoefficiency	225
<i>Zolotarova O., Merezhko N.</i> Weatherability of the construction porous nonmetallic materials impregnated with siloxanes.....	234

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES.....	241
---	------------

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 621.825

Владислав Проценко

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАПОБІЖНОЇ ПРОФІЛЬНОЇ МУФТИ НА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Владислав Проценко

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ПРОФИЛЬНОЙ МУФТЫ НА ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Vladyslav Protsenko

INFLUENCE OF DESIGN AND OPERATIONAL PARAMETERS OF THE PROFILE SAFETY COUPLINGS AT ITS CHARACTERISTICS

Описано конструкцію профільної запобіжної муфти. Отримано вирази для обчислення основних характеристик муфти для різних випадків її роботи. Проаналізовано вплив на характеристики муфти багатьох конструктивних та експлуатаційних параметрів. Зокрема вивчено вплив на навантажувальну здатність та показники точності спрацьовування розмірів напівмуфт, діаметрів осей роликів та коефіцієнтів тертя у спряженнях муфти. Проаналізовано також вплив на ці показники заклинювання роликів на своїх осях. Показано, що зміна коефіцієнтів тертя та заклинювання роликів незначно впливають на характеристики муфти. Отримані результати мають практичну цінність для конструювання муфт.

Ключові слова: муфта, канат, навантажувальна здатність, момент, точність спрацьовування, ролик.

Рис.: 10. Бібл.: 7.

Описана конструкция профильной предохранительной муфты. Получены выражения для вычисления основных характеристик муфты для разных случаев ее работы. Проанализировано влияние на характеристики муфты ряда конструктивных и эксплуатационных параметров. В частности изучено влияние на нагрузочную способность и показатели точности срабатывания размеров полумуфт, диаметров осей роликов и коэффициентов трения в сопряжениях муфты. Проанализировано также влияние на эти показатели заклинивания роликов на своих осях. Показано, что изменение коэффициентов трения и заклинивания роликов незначительно влияют на характеристики муфты. Полученные результаты имеют практическую ценность для конструирования муфт.

Ключевые слова: муфта, канат, нагрузочная способность, момент, точность срабатывания, ролик.

Рис.: 10. Библ.: 7.

The profile safety clutch design is described in the article. The expressions for the calculation couplings basic characteristics for different occasions her work are obtained. The effects on the coupling characteristics of a number design and operational parameters are analyzed. In particular, the influence on the load capacity and performance of precision actuation of the size of semicouplings, diameter of the roller axes and coefficients of friction are studied. The impact of these indicators are jamming the rollers on their axes is analyzed. It is shown that the variation of friction coefficient and wedging the rollers slightly affect the coupling characteristics. The received results have practical value for couplings designing.

Key words: clutch, rope, load capacity, torque, response accuracy, roller.

Fig.: 10. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Конструювання сучасних приводів високого технічного рівня вимагає не тільки уточненої оцінки дійсних експлуатаційних навантажень машин, а і створення ефективних захисних пристроїв для цих приводів. З огляду на це удосконалення існуючих і створення нових конструкцій запобіжних муфт є актуальним завданням для сучасного машинознавства [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вивчення запобіжних муфт з тілами кочення розглядали багато дослідників [2; 3], проте ці конструкції у більшості своїй не здатні до компенсації неспіввісностей та самоустановки елементів. Крім цього, інтерес до досліджень профільних муфт [4] дещо згас, що не зменшує їх перспективності для захисту приводів сучасних машин.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Раніше розроблено конструкцію запобіжної роликів муфти профільного типу із канатними пружними елементами, однак параметри цієї муфти досліджені недостатньо, що формує резерв для майбутніх досліджень.

Мета статті. На сьогодні недостатньо вивченим є вплив конструктивних та експлуатаційних параметрів на характеристики нової профільної муфти, що і становить мету цієї роботи.

Виклад основного матеріалу. Конструкція нової муфти наведена на рис. 1, вона містить ведучу напівмуфту 1, до якої одними зі своїх кінців прикріплені канати 2, що іншими кінцями сполучені з осями 3 роликів 4. Ролики мають можливість взаємодії з виступами профільного отвору веденої напівмуфти 6. У режимі усталеного руху ролики контактують з виступами в одній точці M , що розташована на їх радіальній поверхні. У випадку перевантаження натяг канатів збільшується і вони переміщують ролики по радіальній поверхні виступів до центра муфти O . Перескочивши виступи, ролики рухаються пологими поверхнями 7 профільного отвору до контакту з наступними виступами, забезпечуючи пробуксовку муфти та уникнення завдяки цьому перевантажень приводу.

Для оцінки на першому етапі впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів муфти на її характеристики розглянемо розрахункову схему муфти в момент, коли ролики, контактуючи з виступами зовнішньої напівмуфти, знаходяться відносно неї в нерухомому стані, тобто спричиняючи її обертання в усталеному режимі (рис. 2). З боку виступу веденої напівмуфти на ролик діє сила N нормальної реакції, що створює обертальний момент на веденій напівмуфті. Натяг канатів силою F_H забезпечує відцентрова сила F_G .

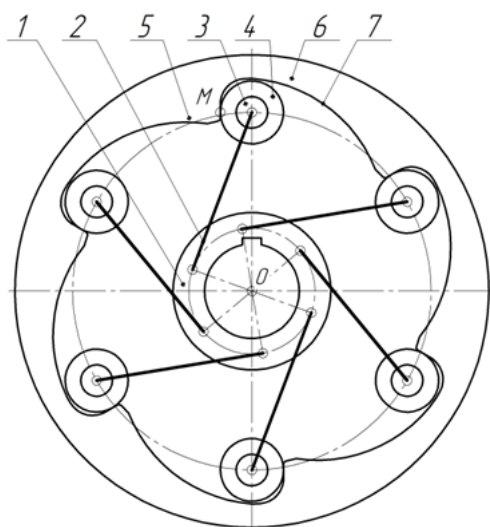


Рис. 1. Будова муфти

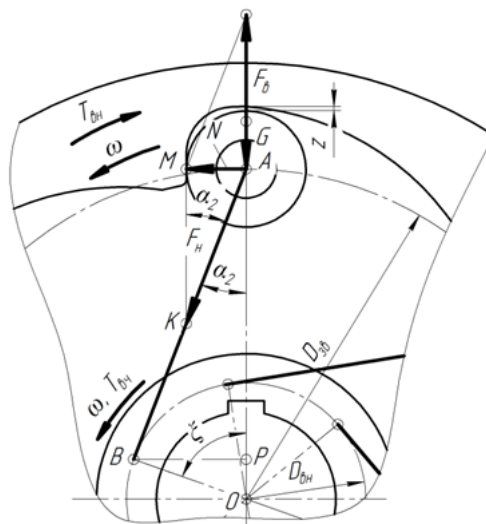


Рис. 2. Розрахункова схема муфти

Момент, що здатна передавати муфта із z роликів масою m_p в усталеному робочому режимі без урахування ваги ролика, становить:

$$T = 0,5zF_G \operatorname{tg} \alpha_2 D_{36} = \frac{0,25zm_p \omega^2 D_{36}^2 D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} = \frac{0,25zm_p \omega^2 D_{36}^2 \psi_D \sin \xi}{\psi_D - \cos \xi}, \quad (1)$$

де D_{36} – діаметр розташування центрів роликів;

D_{6H} – діаметр закріплення кінців канатів на внутрішній напівмуфті;

ξ – кут монтажного зміщення роликів;

$\psi_D = \frac{D_{36}}{D_{6H}}$ – коефіцієнт діаметра напівмуфт.

Муфта почне спрацьовувати (рис. 3) у випадку виконання нерівності (2), яка записана без урахування ваги ролика G :

$$F_H \geq \frac{F_G + F_{кч} + F_{ке}}{\cos \alpha_2}, \quad (2)$$

де $F_{кч}$ – сила опору коченню ролика по поверхні профільного виступу, зведена до центра A ролика;

$F_{кв}$ – сила опору ковзанню ролика на його осі, зведена до центра A ролика.

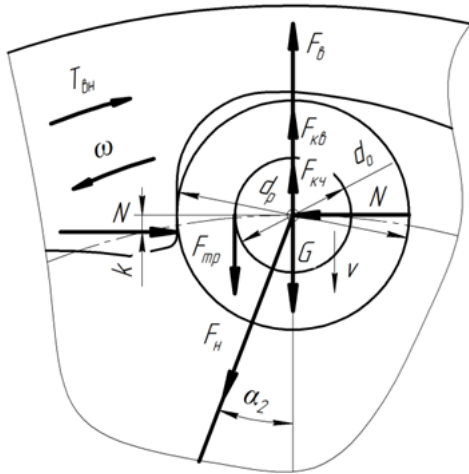


Рис. 3. Розрахункова схема ролика за можливості його обертання на осі

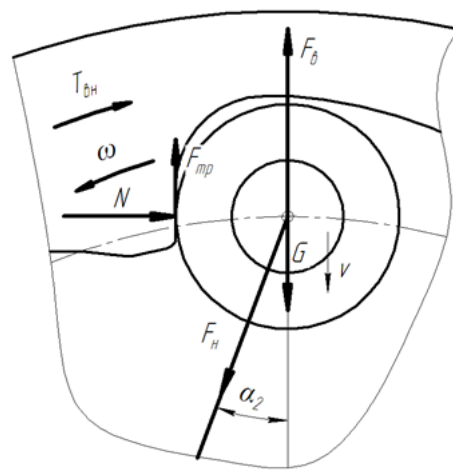


Рис. 4. Розрахункова схема ролика за неможливості його обертання на осі

Сила натягу каната F_n пов'язана з моментом T , що його передає муфта з тангенціальним розташуванням канатів відомим співвідношенням [5], підставивши у яке відомі рівності для обчислення складових $F_{кч}$ та $F_{кв}$, а також формулу (2), отримали формулу для моменту, за якого муфта почне спрацьовувати за умови можливості обертання ролика на своїй осі:

$$T_{cn} = \frac{zm_{\kappa} \omega^2 D_{36}^2 D_{6H} \sin \xi \left[1 + \frac{D_{6H} \sin \xi (2k + fd_o)}{d_p (D_{36} - D_{6H} \cos \xi)} \right] \sqrt{1 + \left(\frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} \right)^2}}{8\sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5D_{36}D_{6H} \cos \xi}} =$$

$$= \frac{zm_{\kappa} \omega^2 D_{36}^2 \psi_D \sin \xi \left[1 + \frac{\psi_D \sin \xi (2k + fd_o)}{d_p (\psi_D - \cos \xi)} \right] \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}}{8\sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}} \quad (3)$$

Відповідно, коефіцієнт точності спрацьовування муфти [6] у випадку можливості обертання роликів на своїх осях становитиме:

$$\gamma_m = \frac{T_{cnmax}}{T_{cnmin}} = \frac{1 + \frac{D_{6H} \sin \xi (2k_m + f_m d_o)}{d_p (D_{36} - D_{6H} \cos \xi)}}{1 + \frac{D_{6H} \sin \xi (2k_n + f_n d_o)}{d_p (D_{36} - D_{6H} \cos \xi)}} = \frac{1 + \frac{\psi_D \sin \xi (2k_m + f_m d_o)}{d_p (\psi_D - \cos \xi)}}{1 + \frac{\psi_D \sin \xi (2k_n + f_n d_o)}{d_p (\psi_D - \cos \xi)}}, \quad (4)$$

де k_m та k_n – відповідно найбільший на найменший коефіцієнт тертя кочення у спряженні ролика з веденою профільною напівмуфтою;

f_m та f_n – відповідно найбільший на найменший коефіцієнт тертя ковзання у спряженні ролика з його віссю;

d_o – діаметр осі ролика;

d_p – діаметр ролика.

У випадку відсутності можливості обертання ролика на осі (рис. 4) (наприклад, у випадку його заклинювання на осі), формула (2) набуде вигляду (3), де враховано тільки опір $F_{mp} = fN$ ковзанню ролика по поверхні виступу профільного отвору веденої напівмуфти:

$$F_n \geq \frac{F_6 + F_{mp}}{\cos \alpha_2}. \quad (5)$$

У такому випадку порушення працездатності формула для моменту спрацювання муфти матиме вигляд:

$$T_{cn3} = \frac{z m_k \omega^2 D_{36}^2 D_{6H} \sin \xi \left[1 + f \frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} \right] \sqrt{1 + \left(\frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} \right)^2}}{8 \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5 D_{36} D_{6H} \cos \xi}} =$$

$$= \frac{z m_k \omega^2 D_{36}^2 \psi_D \sin \xi \left[1 + f \frac{\psi_D \sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right] \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}}{8 \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5 \psi_D \cos \xi}}. \quad (6)$$

У випадку заклинювання роликів коефіцієнт точності становитиме:

$$\gamma_{m3} = \frac{T_{cn3max}}{T_{cn3min}} = \frac{1 + f_m \frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi}}{1 + f_n \frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi}} = \frac{1 + f_m \frac{\psi_D \sin \xi}{\psi_D - \cos \xi}}{1 + f_n \frac{\psi_D \sin \xi}{\psi_D - \cos \xi}}. \quad (7)$$

Коефіцієнт перевищення номінального моменту обчислюють за такою формулою [7]:

$$k_{cn} = \frac{T_{cn}}{T}. \quad (8)$$

На наступному етапі вивчали вплив конструктивних параметрів муфти на її характеристики. Чисельне моделювання виконували для муфти з такими вихідними даними: $D_{36} = 113,5$ мм, $d_p = 20$ мм, $d_o = 10$ мм, $m_p = 0,110$ кг, довжина ролика $l_p = 30$ мм, $k_m = 0,002$, $k_n = 0,001$, $f_m = 0,15$, $f_n = 0,05$, кут монтажного зміщення роликів приймали $\xi = 65^\circ$.

Оцінювали вплив коефіцієнта діаметра напівмуфт ψ_D , який змінювали в діапазоні 1,5...5,5 за рахунок зміни D_{6H} . Результати моделювання зміни номінального моменту муфти T , моменту спрацювання T_{cn} та коефіцієнтів точності γ_m і перевищення номінального моменту k_{cn} представлені на рис. 5 та рис. 6.

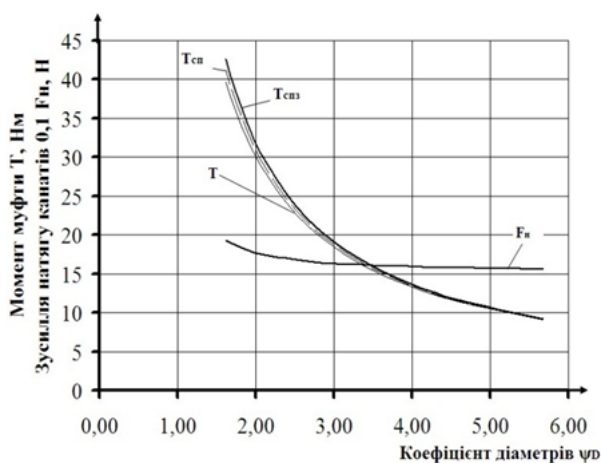


Рис. 5. Залежність моментів муфти від коефіцієнта діаметра напівмуфт

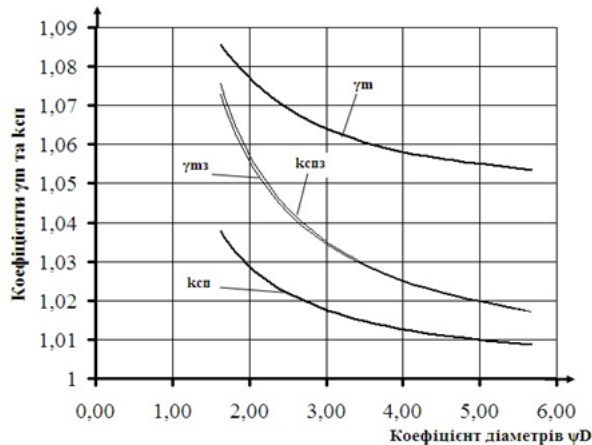


Рис. 6. Залежність коефіцієнтів точності та перевищення номінального моменту від коефіцієнта діаметра напівмуфт

Графіки, представлені на рис. 5 та рис. 6, свідчать, що збільшення коефіцієнта діаметра напівмуфт ψ_D при інших рівних параметрах призводить до зниження навантажу-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вальної здатності муфти та, відповідно, натягу канатів F_n . Так, у разі збільшення коефіцієнта діаметра ψ_D у 2,5 разу (з 2 до 5) навантажувальна здатність (момент T) муфти знижується в 3 рази (з 30 до 10 Нм). Точність спрацьовування муфти у разі збільшення коефіцієнта ψ_D збільшується незначно. Так, його збільшення з 2 до 5 викликає зниження коефіцієнта точності γ_m на 1,9 % (з 1,075 до 1,055). Аналогічно незначний вплив зміна коефіцієнта діаметра ψ_D має на коефіцієнт перевищення номінального моменту k_{cn} – він знижується з 1,03 до 1,01 (на 2,0 %).

Далі вивчали вплив на характеристики муфти коефіцієнта діаметра осі ролика, що являє собою відношення діаметра ролика до діаметра осі $\psi_{po} = \frac{d_p}{d_o}$, який змінювали в діапазоні 1,25...5,00 за рахунок зміни діаметра осі d_o , інші параметри муфти залишали без зміни. Результати моделювання наведено на рис. 7 та рис. 8.

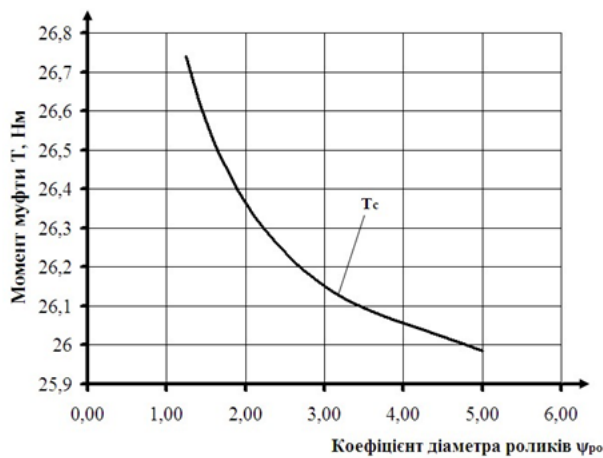


Рис. 7. Залежність моменту спрацьовування муфти від коефіцієнта діаметра осі ролика

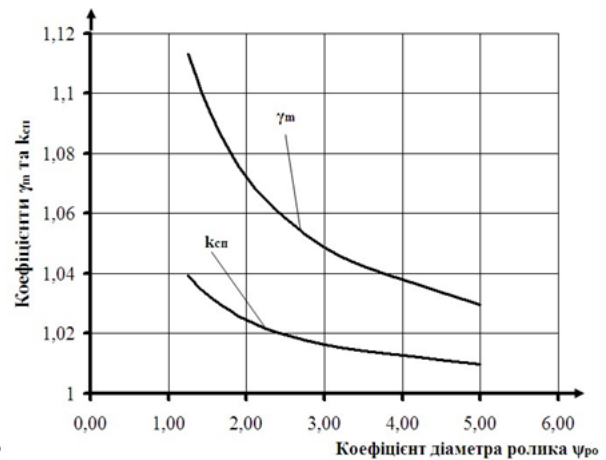


Рис. 8. Залежність коефіцієнтів точності та перевищення номінального моменту від коефіцієнта діаметра осі ролика

Графіки, представлені на рис. 7 та рис. 8, свідчать, що збільшення коефіцієнта діаметра осі ψ_{po} з 1,25 до 5,00 призводить до несуттєвого зниження моменту спрацьовування T_{cn} – з 26,74 до 25,98 Нм (на 3,0 %). При цьому точність муфти збільшується, оскільки коефіцієнт точності γ_m знижується з 1,11 до 1,03 (на 7,8 %), а коефіцієнт перевищення номінального моменту k_{cn} знижується з 1,04 до 1,01 (на 3,0 %). З огляду на результати моделювання для практичного конструювання можна рекомендувати приймати діаметр осі d_o мінімально можливим з умов міцності.

Якість догляду за муфтою в експлуатації, а саме якість її мащення та очищення від забруднень може стати причиною зміни параметрів, на які має вплив коефіцієнт тертя ковзання f . Графіки, представлені на рис. 9 та рис. 10, ілюструють вплив зміни коефіцієнта тертя ковзання на момент та точність спрацьовування.

Представлені на них результати зайвий раз ілюструють важливість догляду за конструкціями, робота яких залежить від коефіцієнта тертя. Хоча збільшення коефіцієнта тертя f з 0,1 до 0,4 призводить до збільшення моменту спрацьовування муфти лише з T_{cn} з 26,36 до 28,26 Нм (на 7,2 %). Оскільки момент муфти T від коефіцієнта тертя не залежить, то у разі його збільшення зростає коефіцієнт перевищення номінального моменту k_{cn} , який за описаних умов також збільшується.

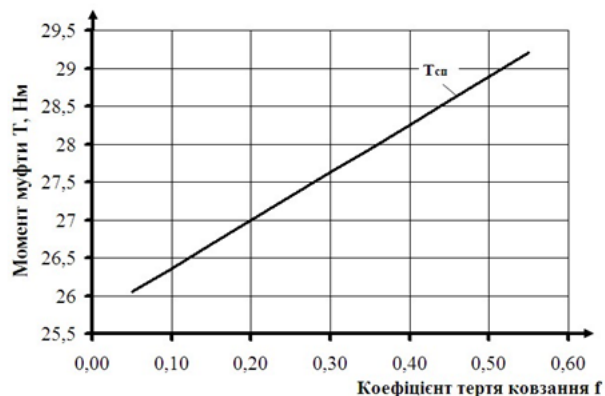


Рис. 9. Залежність моменту спрацьовування муфти від коефіцієнта тертя ковзання

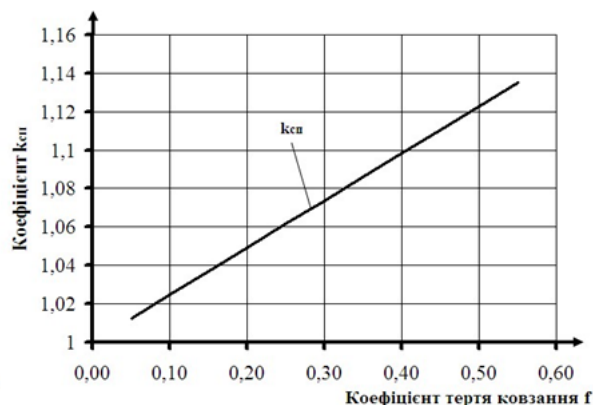


Рис. 10. Залежність коефіцієнта перевищення номінального моменту від коефіцієнта тертя ковзання

У випадку заклинювання роликів на своїх осях, що також може статися у процесі експлуатації, показники муфти також змінюватимуться, що ілюструється рис. 5 та рис. 6. Наприклад, при коефіцієнті діаметра модельної муфти $\psi_D = 2,27$ у випадку заклинювання її роликів момент спрацьовування муфти T_{cnz} збільшується до 26,99 Нм, або на 2,4 % у порівнянні з моментом спрацьовування $T_{cn} = 26,36$ Нм справної муфти. Відповідно, коефіцієнт перевищення номінального моменту k_{cnz} для муфти із заклиненними роликами становить 1,05, а для справної муфти $k_{cn} = 1,02$ (різниця 2,9 %). Проте точність спрацьовування муфти із заклиненними роликами незначно збільшується, коефіцієнт точності γ_m для муфти з обертовими роликами становить 1,07, для муфти із заклиненними роликами $\gamma_{mz} = 1,05$ (різниця 1,9 %). З виконаного аналізу можна зробити висновок про нечутливість муфти до заклинювання роликів у сенсі зміни її характеристик, хоча муфта з обертовими роликами повинна мати більший ресурс.

У результаті виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Встановлено, що запропонована конструкція відцентрової запобіжної роликової профільної муфти має високу точність спрацьовування, на яку незначно впливають конструктивні параметри. Зі збільшенням коефіцієнта діаметра напівмуфт точність спрацьовування муфти дещо зростає.

2. Доведено, що беручи до уваги збільшення точності муфти та зниження моменту спрацьовування необхідно приймати діаметр осі ролика мінімально допустимим з умови забезпечення її міцності.

3. Показано, що муфта може мати достатньо стабільні параметри у процесі експлуатації, оскільки вона малочутлива до зміни коефіцієнта тертя ковзання у спраженнях її елементів – його збільшення в 4 рази призводить до збільшення моменту спрацьовування муфти на 7,0 %.

4. За неможливості обертання роликів на своїх осях (наприклад, у випадку їх заклинювання) муфта зберігає свою навантажувальну здатність, проте момент її спрацьовування збільшується на 2,4 %, що також підтверджує її високі експлуатаційні показники.

Список використаних джерел

1. Деталі машин. Розрахунок та конструювання : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, О. І. Дубинець та ін. – К. : Талком, 2014. – 684 с.
2. Кулькові механізми вільного ходу : монографія / В. О. Малащенко, П. М. Гащук, О. І. Сороківський, В. В. Малащенко. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 212 с.
3. Khainar S. S. Design development, testing and analysis of torque limiter for overload protection / S. S. Khainar and S. N. Shelke // International journal of innovation in engineering research management. – 2014. – Vol. 01, Issue 05. – Pp. 1–5.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Лёзин Д. Л. Исследование упругих и упруго-предохранительных профильных муфт : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.02 «Машиноведение и детали машин» / Д. Л. Лёзин. – М., 1974. – 14 с.
5. Проценко В. О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В. О. Проценко, В. О. Настасенко, О. Ю. Клементьєва // Підйомно-транспортна техніка : науково-технічний та виробничий журнал. – 2015. – № 4. – С. 53–59.
6. Есипенко Я. И. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки / Я. И. Есипенко, А. З. Паламаренко, М. К. Афанасьев. – К. : Техніка, 1972. – 168 с.
7. Кіндрацький Б. І. Алгоритм і оптимізаційна математична модель багатокритеріального структурно-параметричного синтезу запобіжних муфт / Б. І. Кіндрацький, О. О. Шпак // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2008. – № 613. – С. 126–132.

References

1. Arkhanshelskyi, H.V., Vorobiov, M.S., Dubynets, O.I. et al. (2014). *Detali mashyn. Rozrakhunok ta konstruiuvannia [Parts of machines. Calculation and design]*. Kyiv: Talkom (in Ukrainian).
2. Malashchenko, V.O., Hashchuk, P.M., Sorokivskyi, O.I., Malashchenko., V.V. (2012). *Kulkovi mekhanizmy vilnoho khodu [Ball free running mechanisms]*. Lviv: Novyi Svit-2000 (in Ukrainian).
3. Khainar, S.S. and Shelke, S.N. (2014). Design development, testing and analysis of torque limiter for overload protection. *International journal of innovation in engineering research management*, vol. 01, issue 05, pp. 1–5.
4. Lezin, D.L. (1974). Issledovanie uprugikh i uprugopredokhranitelnykh profilnykh muft [Researching of elastic and elastic-profile safety couplings]. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Moscow (in Russian).
5. Protsenko, V.O., Nastasenko, V.O., Klementieva, O.Yu. (2015). Heometrychni ta sylovi parametry mufty z tortsevoi ustanovkoiu kanativ tanhentsialnoho roztashuvannia [Geometric and power settings couplings with face installation tangential located ropes]. *Pidiomno-transportna tekhnika – Handling Machinery*, no. 4, pp. 53–59 (in Ukrainian).
6. Esipenko, Ia.I., Palamarenko, A.Z., Afanasev, M.K. (1972). *Mufty povyshennoi tochnosti ogranicheniia nagruzki [Clutches with increasing load limiting accuracy]*. Kyiv: Tekhnika (in Russian).
7. Kindratskyi, B.I., Shpak, O.O. (2008). Alhorytm i optymizatsiina matematychna model bahatokryterialnoho strukturno-parametrychnoho syntezu zapobizhnykh muft [Algorithm optimization and mathematical model of multi-parametric synthesis of structural safety couplings]. *Visn. Nats. un-tu «Lvivska politekhnika» – Bulletin of National University «Lvivska polytekhnika»*, no. 613, pp. 126–132 (in Ukrainian).

Проценко Владислав Александрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій, Херсонська державна морська академія (просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000, Україна).

Проценко Владислав Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры транспортных технологий, Херсонская государственная морская академия (просп. Ушакова, 20, г. Херсон, 73000, Украина).

Protsenko Vladyslav – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Transport Technologies Department, Kherson State Maritime Academy (20 Ushakova Av., 73000 Kherson, Ukraine).

E-mail: ese@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3468-4952>

УДК 621.01

*В'ячеслав Харжевський***МЕЖІ ІСНУВАННЯ ВАЖІЛЬНИХ ДВОКРИВОШИПНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ ДЛЯ ЧОТИРЬОХ НЕСКІНЧЕННО БЛИЗЬКИХ ПОЛОЖЕНЬ ШАТУННОЇ ПЛОЩИНИ***Вячеслав Харжевский***ОБЛАСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ РЫЧАЖНЫХ ДВУХКРИВОШИПНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ВЫСТОЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА ДЛЯ ЧЕТЫРЕХ БЕСКОНЕЧНО БЛИЗКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ШАТУННОЙ ПЛОСКОСТИ***Viacheslav Kharzhevskiy***THE REGIONS OF EXISTENCE OF DOUBLE-CRANK DWELL LINKAGE MECHANISMS FOR THE FOUR INFINITESIMALLY CLOSE POSITIONS OF THE COUPLER PLANE**

У роботі розглянуто питання кінематичного синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму. Для синтезу базового прямолінійно-напрямого механізму використано теоретичні положення кінематичної геометрії чотирьох нескінченно близьких положень плоскої фігури (шатунної площини). Визначено межі існування механізмів, що дозволяють проводити їх синтез за заданою тривалістю та точністю зупинки вихідної ланки з урахуванням багатьох додаткових вимог, а саме: за положенням шатунної точки, що визначає габаритні розміри механізму, величиною максимального ходу та кутом нахилу прямої вихідної ланки, а також кутом повороту кривошипа, що відповідає початку зупинки вихідної ланки, що важливо для узгодження роботи механізму з циклограмою роботи машини.

Ключові слова: важільні механізми, синтез, прямолінійно-напрямні механізми, кінематична геометрія, точки Болла.

Рис.: 3. Бібл.: 10.

В работе рассмотрен вопрос кинематического синтеза рычажных механизмов с остановкой выходного звена на основе двухкривошипного шарнирного четырехзвенного механизма. Для синтеза базового прямолинейно-направляющего механизма использованы теоретические положения кинематической геометрии четырех бесконечно близких положений плоской фигуры (шатунной плоскости). Определены области существования механизмов, что позволяет проводить их синтез по заданной продолжительности и точности остановки выходного звена с учетом ряда дополнительных требований, а именно: по положению шатунной точки, что определяет габаритные размеры механизма; по величине максимального хода и углу наклона направляющей выходного звена, а также по углу поворота кривошипа, соответствующего началу остановки выходного звена, что важно для согласования работы механизма с циклограммой работы машины.

Ключевые слова: рычажные механизмы, синтез, прямолинейно-направляющие механизмы, кинематическая геометрия, точки Болла.

Рис.: 3. Библ.: 10.

The article is dedicated to the kinematic synthesis of dwell linkage mechanisms on the basis of double-crank four-bar linkage. The theoretical grounds of the kinematic geometry of the four infinitesimally close positions of the planar figure (coupler plane) are used for the synthesis of the basic straight-line mechanism. The regions of parameters' existence of mechanisms are determined that enables to carry out the synthesis procedure at the given dwell duration and exactitude of the output link taking into account a number of additional requirements such as: by given position of the coupler point that defines overall dimensions of mechanism, by maximum displacement and angle of the guide of the output link, and by the angle of the crank rotation that corresponds to the start of the dwell period, which is important to fit out the mechanism to the cyclogram of the machine.

Key words: linkage mechanisms, synthesis, straight-line mechanisms, kinematic geometry, Ball's point.

Fig.: 3. Bibl.: 10.

Постановка проблеми. Механізми, що забезпечують періодичну зупинку вихідної ланки, широко використовуються в різноманітних галузях сучасного машинобудування, оскільки саме під час періодичної зупинки виконавчого органа механізму, як правило, забезпечується виконання певної технологічної операції машини. У літературі є чимало прикладів таких машин [1; 2; 5]. Для реалізації цієї задачі можуть використовуватись різні типи механізмів, зокрема, кулачкові, мальтійські, механізми неповнозубих коліс тощо. Відомо також [1–10], що при певному співвідношенні довжин ланок ця задача може бути розв'язана за допомогою важільних механізмів, які мають переваги перед іншими типами механізмів завдяки відсутності вищих кінематичних пар у їх складі. Важільні механізми, зокрема, дозволяють працювати з більшими робочими швидкостями, мають більшу на-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вантажувальну здатність, надійність та довговічність. Проте проблема синтезу таких механізмів є однією з найскладніших у теорії механізмів і машин та повною мірою може бути вирішена лише з використанням сучасних аналітично-числових методів. Причому важливо забезпечити інженера-конструктора довідковими матеріалами у вигляді меж існування таких механізмів, які б дозволили за допомогою діаграм проводити вибір їх геометричних параметрів за заданою тривалістю зупинки з урахуванням багатьох додаткових критеріїв. Таким чином, розроблення методів синтезу таких механізмів та визначення меж їх існування є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із напрямків кінематичного синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки є використання базових напрямних механізмів: прямолінійно-напрямних, у яких деяка точка шатуна викреслює траєкторію, що на деякій ділянці наближається до прямої лінії, та кругових напрямних механізмів, що забезпечують відповідно наближення до дуги кола. У разі приєднання до такого базового механізму додаткової структурної групи отримуємо механізм з періодичною зупинкою вихідної ланки. Проблема синтезу базових напрямних механізмів може бути вирішена за допомогою методів найкращого наближення за П. Л. Чебишовим, які полягають у тому, що шатунна крива та крива наближення (пряма лінія або дуга кола) мають якомога більшу кількість спільних точок (вузлів інтерполяції), причому відхилення на ділянці наближення змінюються рівномірно. В цьому напрямку слід відзначити роботи З. Ш. Блоха, Л. С. Гродзенської, Я. Т. Кіницького [2], Ю. Л. Саркісяна [7], В. Гассманна [5]. Іншим напрямком у синтезі таких механізмів є використання методів кінематичної геометрії, що започатковані Бурместером та знайшли подальший розвиток, зокрема, у роботах Р. Бейера, В. Ліхтенхельдта, Р. Мюллера. Ефективним інструментом синтезу напрямних механізмів є теоретичні положення кінематичної геометрії нескінченно близьких положень плоскої фігури, що полягають у пошуку в шатунній площині механізмів кратних вузлів інтерполяції – певних особливих точок, що здатні викреслювати криві з ділянками наближення постійної кривизни високої точності. Такими особливими точками є [1; 2; 4]: точки Болла, Бурместера, Чебишова, точки розпрямлення 4-го та 5-го порядків. Існує багато сучасних робіт у цьому напрямку, зокрема, роботи Д. Уанга [10], Л. Іна, Дж. Хана [8; 9], Дж. МакКарті [6]. У цій роботі розглянемо синтез зазначених механізмів з використанням методів кінематичної геометрії чотирьох нескінченно близьких положень шатунної площини. Зокрема, синтез таких механізмів, як кривошипно-коромислових, так і двокривошипних, розглядався в роботі [4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З практичного погляду важливою задачею у синтезі механізмів є побудова меж існування їх геометричних параметрів, що дозволить інженеру-конструктору досить просто та наочно вибирати такі параметри механізмів, які відповідають певним основним вимогам, з урахуванням багатьох додаткових критеріїв. Незважаючи на те, що синтез механізмів з використанням точок Болла розроблявся у багатьох роботах, зокрема у [4; 8; 9], невирішеним залишається завдання визначення меж існування параметрів двокривошипних прямолінійно-напрямних механізмів та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки, які мають певні переваги перед аналогічними кривошипно-коромисловими механізмами.

Мета статті. Метою цієї роботи є визначення аналітично-числовим способом меж існування параметрів зазначених механізмів, які забезпечують наближення ділянки шатунної кривої до прямої лінії та синтезовані з використанням точок Болла (випадок чотирьох нескінченно близьких положень шатунної площини). Це дозволить проводити багатокритеріальний синтез механізмів із зупинкою вихідної ланки, що побудовані на їх основі, з урахуванням багатьох додаткових вимог, що важливо стосовно використання цих механізмів на практиці.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 показано структурну схему двокривошипного шестиланкового механізму із зупинкою вихідної ланки. Механізм працює таким чином: при неперервному обертovому русі вхідного кривошипа OA , шатунна точка D механізму викреслює шатунну криву, яка на деякій своїй ділянці DD' наближається до прямої лінії довжиною L . До базового чотириланкового механізму $OABCD$ приєднано додаткову структурну групу 4-5 II класу 5-го виду таким чином, що напрямна цієї групи розміщена паралельно прямолінійній ділянці шатунної кривої. Таким чином, під час проходження точкою D ділянки DD' , вихідна ланка 5 має зупинку, тривалість якої дорівнює часу знаходження точки D на інтервалі наближення DD' . Тривалість зупинки вихідної ланки позначимо як α_Σ – кут повороту кривошипа 1, що відповідає періоду зупинки вихідної ланки 5.

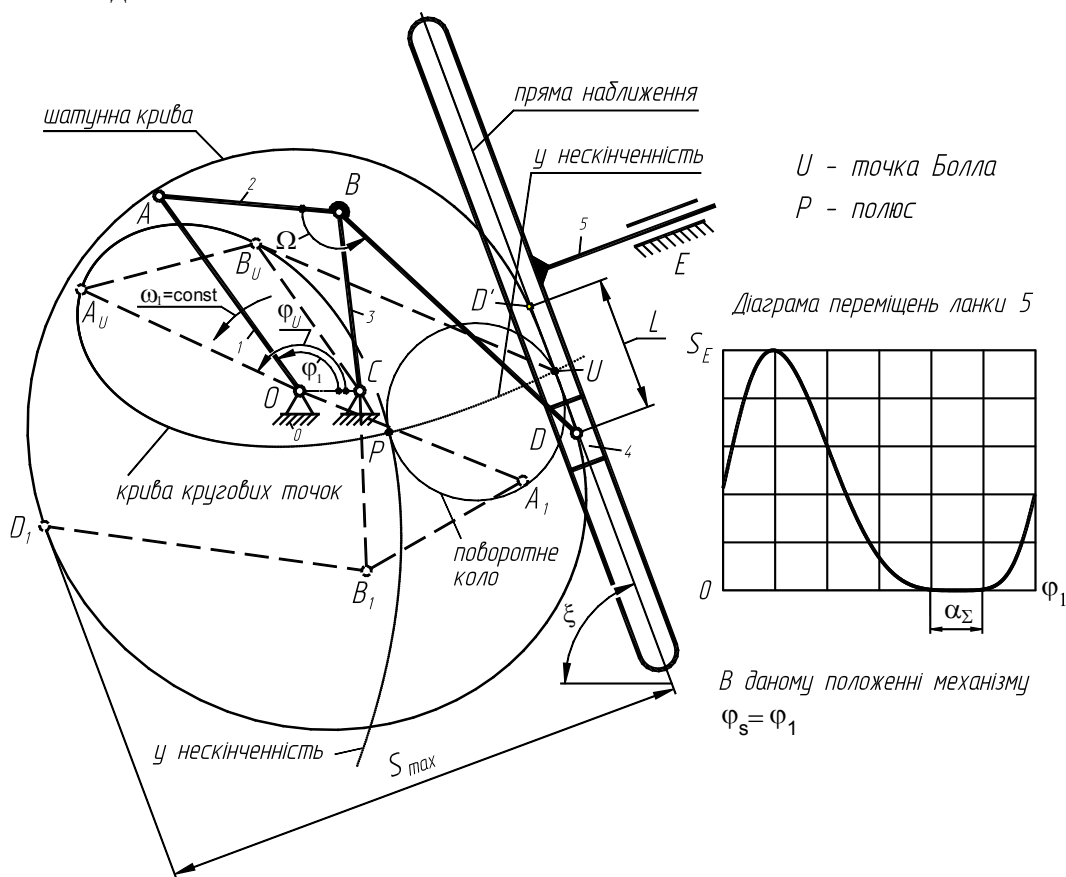


Рис. 1. Двокривошипний важільний механізм із зупинкою вихідної ланки, побудований на основі чотирикратного вузла інтерполяції шатунної площини (точки Болла U)

Як зазначено в роботі [4], використання двокривошипних механізмів як базових має певні переваги, зокрема це дозволяє отримати значно більші величини максимального ходу вихідної ланки S_{max} , а оскільки величина цього ходу в багатьох випадках задається у процесі проектування, то є можливість отримати механізми значно менших габаритних розмірів порівняно з базовими кривошипно-коромисловими механізмами.

Проте, як зазначалось раніше, основною проблемою у проектуванні механізмів із зупинкою вихідної ланки є синтез базового прямолінійно-напрямого механізму. В цій роботі, так само як і в роботі [4], будемо використовувати методи кінематичної геометрії чотирьох нескінченно близьких положень механізмів з використанням точок Болла. Вихідними даними для проектування є довжини ланок базового механізму, а саме: кривошипа $r = l_{OA}$, шатуна $b = l_{AB}$, коромисла $c = l_{BC}$. Всі розміри ланок є відносними, за

модуль довжини прийнято відстань між осями нерухомих шарнірів $d = l_{OC} = 1$. У результаті проведеного синтезу необхідно визначити таку довжину другого плеча шатуна $k = l_{BD}$ та кут його злomu Ω , які б дозволили отримати зупинку вихідної ланки 5 наперед заданої тривалості α_Σ .

Точки Болла, відповідно до теоретичних положень кінематичної геометрії [1], визначаються як перетин поворотного кола, що є геометричним місцем перегинів шатунних кривих, з кривою кругових точок, яка визначає вузли інтерполяції 3-го порядку (для чотирьох нескінченно близьких положень шатунної площини). Всі побудови в кінематичній геометрії проводяться для певного положення шатунної площини, що однозначно визначається кутом повороту кривошипа φ_1 . Згідно з [1], рівняння поворотного кола в неявному вигляді записується таким чином (рис. 1):

$$\omega^2(x^2 + y^2) - (x_0''x + y_0''y) = 0, \tag{1}$$

де ω – кутова швидкість обертання шатунної площини ABD ; x_0'', y_0'' – проекції прискорення зміни положення полюса P миттєвого обертання шатунної площини. Рівняння кривої кругових точок у неявному вигляді [1] (див. рис. 1):

$$(x^2 + y^2)(l_1x + l_2y) - l_3y^2 - l_4xy - l_5x^2 = 0, \tag{2}$$

де коефіцієнти l_1, \dots, l_5 визначаються таким чином:

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \omega x_0''' + 3\omega^2 y_0'' - 3\omega' x_0'', l_2 = \omega y_0''' - 3\omega^2 x_0'' - 3\omega' y_0'', \\ l_3 &= -3x_0'' y_0'', l_4 = 3[(y_0'')^2 - (x_0'')^2], l_5 = 3x_0'' y_0''. \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

Відповідно до рекомендацій [1], під час проведення синтезу кутову швидкість шатунної площини ABD доцільно прийняти $\omega = \text{const} = 1$, а центр системи координат xOy перенести у полюс P і повернути її таким чином, щоби вісь абсцис була направлена вздовж полюсної дотичної, оскільки в такому випадку $x_0'' = 0$. Тоді прискорення y_0'' буде визначатись як діаметр поворотного кола (1), а похідні 3-го порядку від переміщення полюса миттєвого обертання шатунної площини, як показано в роботі [3], можна розрахувати за такими формулами:

$$x_0''' = \frac{3y_A y_0''^2}{x_A^2 + y_A^2} - \frac{y_A y_0''''}{x_A} - 3y_0''''; y_0''' = \frac{3x_A x_B y_B y_0''^2 [y_B - y_A (x_B^2 + y_B^2) / (x_A^2 + y_A^2)]}{(x_A y_B - x_B y_A)(x_B^2 + y_B^2)}, \tag{4}$$

де x_A, y_A, x_B, y_B – координати рухомих шарнірів механізму A і B (рис. 1).

Для заданого положення шатунної площини механізму можна визначити точку Болла як перетин кривих (1) та (2), як показано у [1]:

$$x_U = \frac{-x_0''' y_0'' y_0''''}{(x_0''')^2 + (y_0''')^2}, y_U = \frac{(x_0''')^2 y_0''}{(x_0''')^2 + (y_0''')^2}. \tag{5}$$

Таким чином, використовуючи рівняння (1)–(5), для заданих розмірів ланок механізму r, b, c та кута φ_1 , у шатунній площині можна визначити точку Болла, а на основі отриманого таким чином прямолінійно-напрямого механізму спроектувати механізм із зупинкою вихідної ланки деякої тривалості. Проте для практики важливим є розв'язання оберненої задачі: визначення таких геометричних параметрів механізму,

які б забезпечили наперед задану тривалість α_{Σ} та точність $2E$ зупинки вихідної ланки, причому з урахуванням додаткових критеріїв, які є важливими для інженера-конструктора. Така задача була розв'язана для випадку базового кривошипно-коромислового механізму [3], а в цій роботі покажемо її розв'язок для базового двокривошипного механізму (рис. 2, 3).

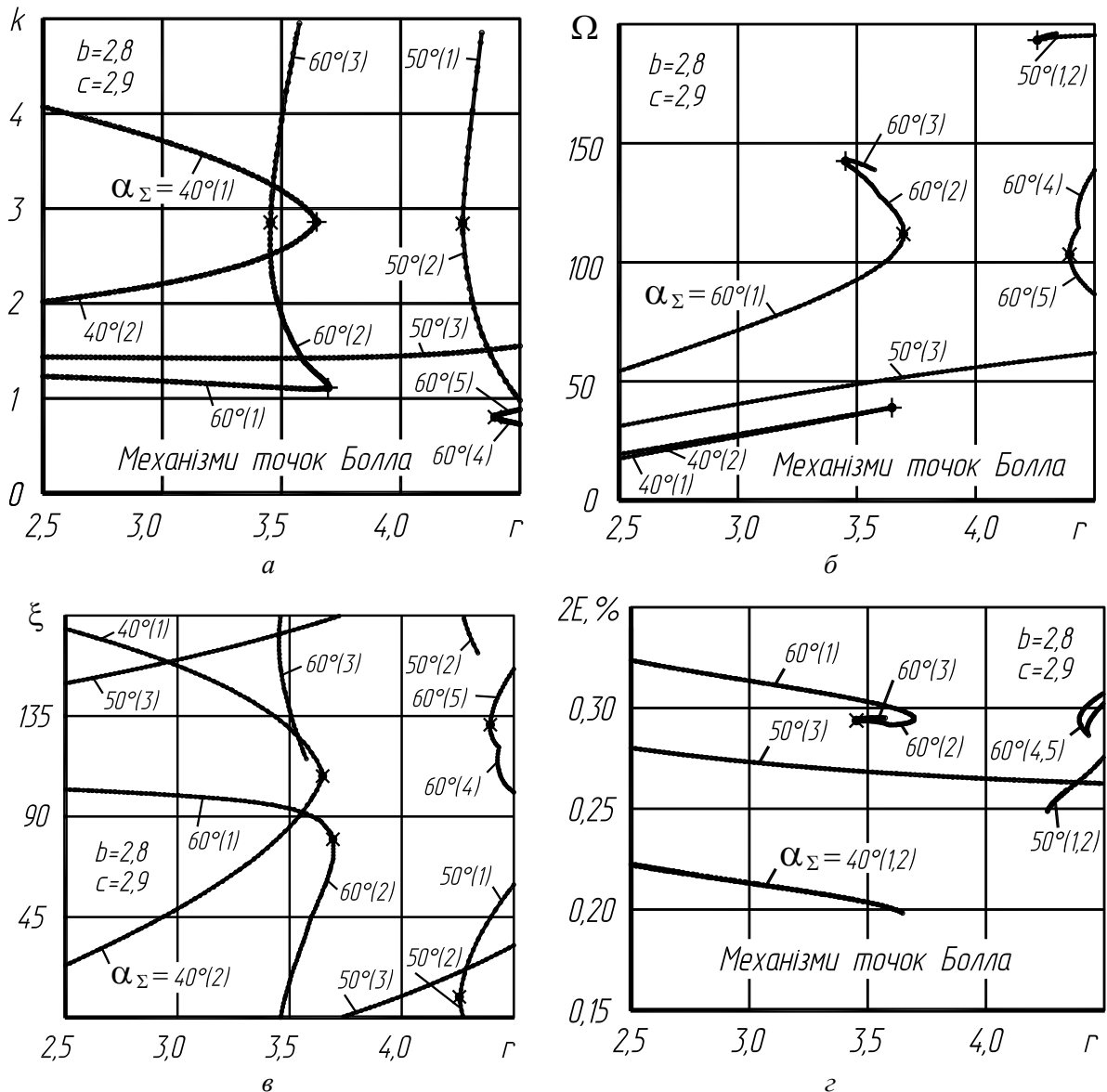


Рис. 2. Довідкові карти для проведення синтезу (межі існування механізмів):

а – довжина k другого плеча шатуна ABD ; б – кут Ω злому шатуна ABD ; в – кут ξ нахилу напрямної ланки 4; г – максимальне відхилення $2E$ у фазі зупинки вихідної ланки

Для визначення тривалості зупинки вихідної ланки було використано числовий метод на основі безрозмірного коефіцієнта граничної швидкості вихідної ланки [3]. Використовуючи методи числового аналізу, було визначено такі параметри механізмів, що точно відповідають наперед заданій тривалості зупинки. В результаті проведених досліджень встановлено, що для механізмів, які розглядаються в цій роботі, для розмірів базового механізму, для прикладу, $b = 2,8; c = 2,9$, при зміні довжини кривошипа в межах $r = 2,5, \dots, 4,5$, можливим є отримання зупинок вихідної ланки, що точно кратні $40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ (рис. 2, 3).

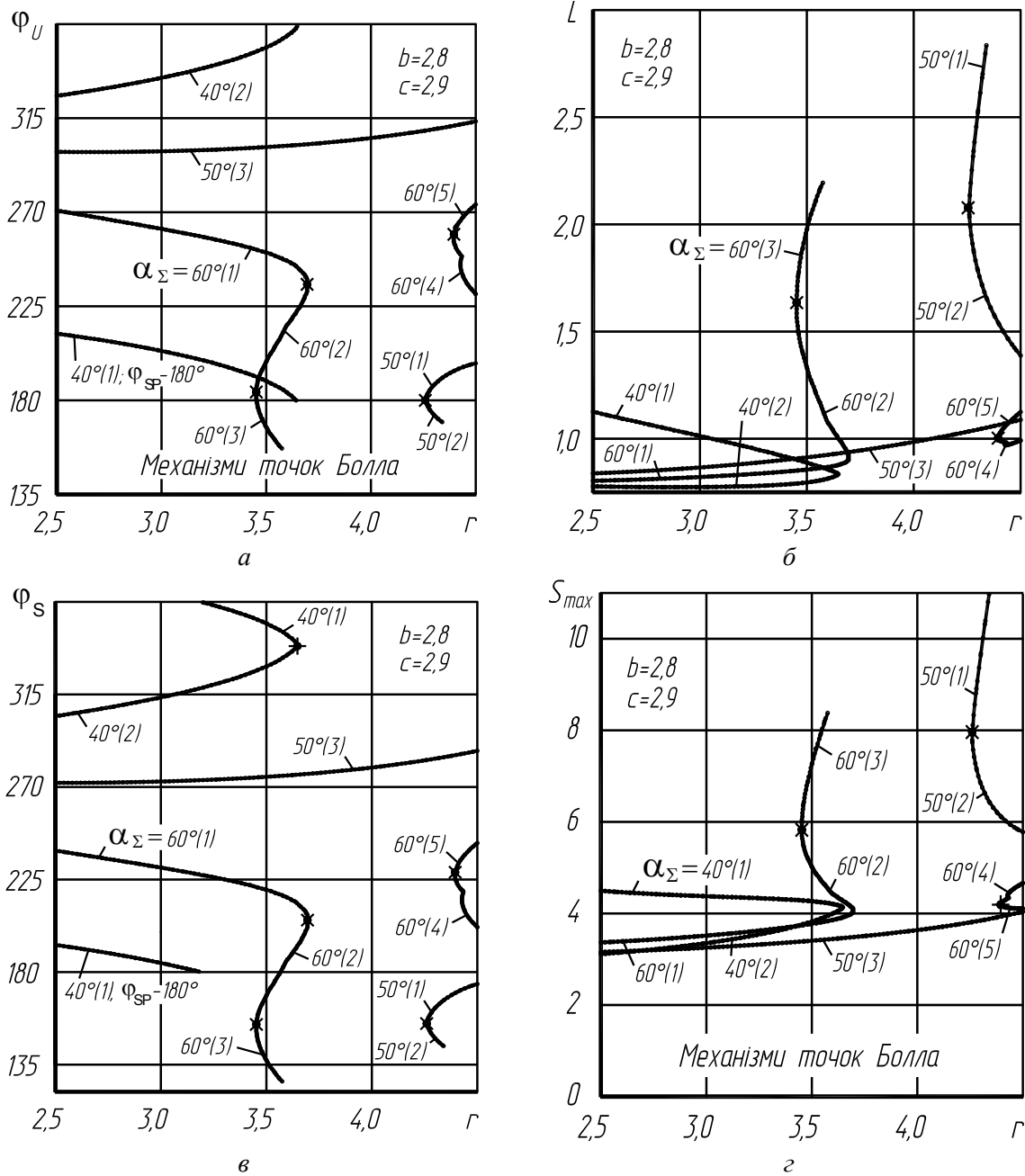


Рис. 3. Довідкові карти для проведення синтезу: а – кут φ_U , що визначає положення шатунної площини, для якого визначена точка Болла; б – довжина ділянки наближення L ; в – кут φ_S , що визначає початок зупинки; г – максимальний хід вихідної ланки S_{max}

У результаті проведених розрахунків була сформована база даних геометричних параметрів механізмів, що може бути використана для їх оптимізаційного синтезу за різними критеріями. Зокрема, крім заданої тривалості зупинки вихідної ланки α_Σ , конструктором може бути додатково враховані габаритні розміри механізму, що визначаються положенням його шатунної точки (параметри k та Ω – рис. 2, а, б), максимальне відхилення $2E$ вихідної ланки у фазі зупинки (рис. 2, г). Відомо, що прямолінійно-напрямні механізми мають у машинобудуванні також самостійне застосування, існує багато прикладів їх практичного впровадження [4; 5]. Для синтезу таких механізмів часто важливим параметром є довжина прямолінійної ділянки L : відповідна діаграма $L = f(r)$ показана на рис. 3, а.

Синтез механізмів із зупинкою вихідної ланки можна проводити також за наперед заданим максимальним ходом вихідної ланки S_{\max} (рис. 3, *г*) та кутом нахилу ξ її на прямої (рис. 2, *в*). Крім того, важливим параметром таких механізмів є кут φ_s повороту кривошипа I , що відповідає початку фази зупинки вихідної ланки 5, оскільки спроектований механізм потрібно узгодити з циклограмою роботи машини (рис. 3, *в*).

Для визначення геометричних параметрів механізмів за заданою тривалістю зупинки можна також скористатись методикою визначення точок Болла, що викладена в роботі [4], але, крім заданих довжин базового механізму r, b, c , при цьому необхідно знати кут повороту кривошипа φ_1 , що відповідає положенню шатунної площини, для якого потрібно шукати точку Болла. Для цього можна скористатись діаграмою $\varphi_U = f(r)$, що показана на рис. 3, *а*.

Слід зазначити, що певній величині тривалості зупинки вихідної ланки можуть відповідати декілька кривих на діаграмах, що зображені на рис. 2, 3: у таких випадках відповідні криві нумеруються цифрами в дужках. Крім того, як видно з рис. 2, 3, по осі абсцис на графіках відкладається довжина кривошипа r , а тій самій величині r можуть відповідати різні механізми, тому криві однакових тривалостей зупинок розбиті точками на ділянки, кожна з яких має свій номер. Це дозволяє однозначно визначити параметри проєктованого механізму на всіх діаграмах.

Висновки і пропозиції. В роботі наведено межі існування параметрів важливих двокривошипних механізмів із зупинкою вихідної ланки, що синтезовані з використанням точок Болла, які знайдені для випадку чотирьох нескінченно близьких положень шатунної площини. Використовуючи наведені в роботі довідкові карти, можна проводити синтез таких механізмів за заданою тривалістю та точністю зупинки вихідної ланки, довжиною прямолінійної ділянки шатунної кривої, враховуючи додаткові параметри, що є важливим для практичного використання таких механізмів. Роботу планується продовжити в напрямку оптимізаційного синтезу таких механізмів з урахуванням їх основних кінематичних та кінетостатичних характеристик.

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. Киницкий Я. Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
3. Харжевский В. А. Метод определения положения шатунных точек для проектирования рычажных прямолинейно направляющих механизмов / В. А. Харжевский // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого (Республика Беларусь). – 2015. – № 4 (63). – С. 7–13.
4. Харжевський В. О. Синтез важливих механізмів із зупинкою вихідної ланки методами кінематичної геометрії : монографія / В. О. Харжевський. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2015. – 223 с.
5. Gassmann V. Synthese von Geradfürungen mit ebenen Viergelenkgetrieben / V. Gassmann. – Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
6. McCarthy J. Geometric Design of Linkages, 2nd edition / McCarthy J., Soh G. – New York : Springer-Verlag, 2011. – 448 p.
7. Sarkissyan Y. L. Approximations in Synthesis of Mechanisms / Y. L. Sarkissyan // State Engineering University of Armenia Proceedings, series “Mechanics, Machine Science, Machine-building”. – 2012. – Issue 15. – № 2. – Pp. 9–21.
8. Yin L. A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points / L. Yin, J. Han, J. Huang, T. Yang // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vols. 215–216. – Pp. 138–141.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. 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). – Pp. 237–243.
10. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages / D. Wang, W. Wang. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 450 p.

References

1. Artobolevskii, I.I., Levitskii, N.I., Cherkudinov, S.A. (1959). *Sintez ploskikh mekhanizmov [Synthesis of planar mechanisms]*. Moscow: Fizmatgiz (in Russian).
2. Kinitiskii, Ia.T. (1990). *Sharnirnye mekhanizmy Chebysheva s vystoem vykhodnogo zvena [Chebyshev's linkages with dwell of the output link]*. Kyiv: Vyshcha shkola (in Russian).
3. Kharzhevskiy, V.A. (2015). Metod opredeleniia polozheniia shatunnykh tochek dlia proektirovaniia rychazhnykh priamolineino napravliaiushchikh mekhanizmov [The method of determining of coupler points' position for the designing of the linkage straight-line mechanisms]. *Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo – Herald of Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi*, no. 4, pp. 7–13 (in Russian).
4. Kharzhevskiy, V.O. (2015). *Sintez vazhilnykh mekhanizmiv iz zupynkoiu vykhidnoi lanky metodamy kinematychnoi heometrii [Synthesis of the linkage mechanisms with dwell of the output links using kinematic geometry methods]*. Khmelnytskyi: RVC KhNU (in Ukrainian).
5. Gassmann, V. (2000). *Synthese von Geradfuehrungen mit ebenen Viergelenkgetrieben [Synthesis of straight-line mechanisms on the basis of four-bar linkage]*. Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss. (in German).
6. McCarthy, J. & Soh, G. (2011). *Geometric Design of Linkages, 2nd edition*. New York: Springer-Verlag.
7. Sarkissyan, Y.L. (2012). Approximations in Synthesis of Mechanisms. *State Engineering University of Armenia Proceedings, series "Mechanics, Machine Science, Machine-building"*, Issue 15, № 2, pp. 9–21.
8. Yin, L., Han, J., Huang, J., Yang, T. (2012). A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points. *Applied Mechanics and Materials*, vols. 215-216, pp. 138–141.
9. Yin, L. & Han, J. (2011). Synthesis research of straight-line mechanisms by analyzing solution regions. *Journal of University of Science and Technology, Beijing*, 33 (2), pp. 237–243.
10. Wang, D. & Wang W. (2015). *Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages*. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.

Харжевський Вячеслав Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинознавства, Хмельницький національний університет (вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна).

Харжевский Вячеслав Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиноведения, Хмельницкий национальный университет (ул. Институтская, 11, г. Хмельницкий, 29016, Украина).

Kharzhevskiy Viacheslav – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Mechanical Engineering Department, Khmelnytskyi National University (11 Instytutska Str., 29016 Khmelnytskyi, Ukraine).

E-mail: vk@solidworks.net.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4816-2781>

РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 620.179:534.6

Сергей Филоненко

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ИЗНОСЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА С НЕУПРАВЛЯЕМОЙ ГЛУБИНОЙ РЕЗАНИЯ

Сергій Філоненко

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ЗНОСІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ІНСТРУМЕНТУ З НЕКЕРОВАНОЮ ГЛУБИНОЮ РІЗАННЯ

Sergii Filonenko

ACOUSTIC EMISSION ENERGY PARAMETERS AT COMPOSITE TOOL WEAR WITH A NOT CONTROLLED CUTTING DEPTH

Проведено моделювання енергії акустичного випромінювання при зносі інструменту з композиційного матеріалу для випадку механічної обробки композиційного матеріалу з некерованою глибиною різання. Показано, що зростання зносу інструменту супроводжується зменшенням енергетичних параметрів акустичного випромінювання. Визначено статистичні енергетичні параметри сигналів акустичної емісії у випадку зростання зносу інструменту. Показано, що найбільш чутливим енергетичним параметром акустичного випромінювання є дисперсія середнього рівня енергії сигналів акустичної емісії.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, композиционный материал, энергия, механическая обработка, износ, статистические характеристики.

Рис.: 2. Табл.: 1. Библ.: 14.

Проведено моделювання енергії акустичного випромінювання у разі зносу інструменту з композиційного матеріалу для випадку механічної обробки композиційного матеріалу з некерованою глибиною різання. Показано, що зростання зносу інструменту супроводжується зменшенням енергетичних параметрів акустичного випромінювання. Визначено статистичні енергетичні параметри сигналів акустичної емісії у випадку зростання зносу інструменту. Показано, що найбільш чутливим енергетичним параметром акустичного випромінювання є дисперсія середнього рівня енергії сигналів акустичної емісії.

Ключові слова: акустична емісія, композиційний матеріал, енергія, механічна обробка, знос, статистичні характеристики.

Рис.: 2. Табл.: 1. Библ.: 14.

The simulation of acoustic radiation energy at tool wear from composite material for a case of composite material machining with a not controlled cutting depth is conducted. It is shown, that the increasing of tool wear is accompanied by decreasing of acoustic radiation energy parameters. The statistical energy parameters of acoustic emission signals are determined at increasing of tool wear. It is shown, that the most sensing acoustic radiation energy parameter is the acoustic emission signals energy average level dispersion.

Key words: acoustic emission, composite material, energy, machining, wear, statistical characteristics.

Fig.: 2. Tabl.: 1. Bibl.: 14.

Постановка проблеми. Контроль и мониторинг состояния режущего инструмента является одной из проблем обеспечения качества изделий, изготавливаемых методами механической обработки материалов. Особое значение эта проблема имеет при обработке композиционных материалов (КМ).

Для исследования технологических процессов механической обработки КМ используется метод акустической эмиссии (АЭ). Его применение основано на высокой чувствительности метода к процессам деформирования и разрушения материалов. Протекание этих процессов определяется условиями взаимодействия обрабатываемого и обрабатывающего материалов. Изменение условий их взаимодействия приводит к изменению параметров АЭ. Результаты анализа данных изменений направлены на разработку методов контроля и мониторинга состояния режущего инструмента. Однако на акустическое излучение влияют различные факторы. К ним относятся технологические факторы процесса механической обработки, а так же свойства КМ. Их наличие приво-

дит к значительному усложнению проблемы контроля и мониторинга состояния обрабатываемого инструмента.

Для оценки влияния различных факторов на АЭ значение имеют теоретические исследования. Такие исследования, прежде всего, направлены на интерпретацию закономерностей изменения акустического излучения. Они позволяют определить чувствительность параметров АЭ к изменению параметров технологического процесса и условий взаимодействия обрабатываемого и обрабатывающего КМ, определить особенности влияния процессов деформирования и разрушения пары взаимодействующих материалов на акустическое излучение. Результаты исследований являются основой в разработке методов контроля и мониторинга технологических процессов механической обработки.

Анализ последних исследований и публикаций. Для управления технологическими процессами механической обработки материалов, включая и КМ, проводятся комплексные исследования с поиском закономерностей изменения различных анализируемых параметров – сил резания, температуры, износа обрабатываемого инструмента, звука, вибраций, АЭ, шероховатости обработанной поверхности и других характеристик [1–5].

Одним из направлений исследований является анализ АЭ при износе и повреждении режущего инструмента [6–8]. Полученные результаты показывают, что износ или повреждение инструмента приводит к изменению параметров сигналов АЭ. Данные изменения могут использоваться для мониторинга состояния инструмента. В тоже время, параметры сигналов АЭ при возрастании износа инструмента имеют сложный и противоречивый характер изменения. В работе [8] отмечено, что с возрастанием времени механической обработки КМ происходит возрастание износа режущего инструмента и сопровождается возрастанием среднеквадратического значения (СКЗ) амплитуды сигнала АЭ. Выделение полосы частот для обработки АЭ позволяет использовать анализ СКЗ сигнала для мониторинга состояния инструмента. Необходимость использования анализа амплитуд сигналов АЭ в определенной полосе частот для оценки состояния инструмента показана и в работе [9]. При этом отмечено, что увеличение износа инструмента приводит к возрастанию амплитуд высокочастотной составляющей в спектре регистрируемого сигнала АЭ. Анализ коэффициента или индекса, характеризующего скорость изменения данных амплитуд, может использоваться для мониторинга состояния режущего инструмента и качества обработанной поверхности. Для контроля и мониторинга износа инструмента может использоваться и анализ изменения накопленного СКЗ амплитуд сигналов АЭ [10]. Согласно полученным данным, возрастание износа сопровождается резким увеличением наклона или скорости накопления СКЗ амплитуд сигналов АЭ.

В работе [11] показано, что при увеличении износа инструмента происходит возрастание СКЗ амплитуд сигналов АЭ. Такое изменение СКЗ амплитуды наблюдается для всех исследованных скоростей механической обработки. В тоже время, в работе [12] отмечено, что возрастание износа приводит к уменьшению b параметра амплитудного β -распределения. Уменьшение амплитуды основной несущей частоты в спектре сигнала АЭ при повреждении инструмента показано в работе [6]. Однако зависимости уменьшения среднего значения амплитуды сигнала АЭ и его стандартного отклонения при увеличении износа инструмента имеют сложный и не устойчивый характер. Такой же характер изменения имеют и статистические параметры амплитудных распределений сигналов АЭ (коэффициент асимметрии и коэффициент остроты распределения). При этом наблюдается возрастание СКЗ амплитуд сигналов АЭ. Уменьшение СКЗ амплитуды сигнала АЭ при износе и повреждении инструмента показано в работе [12]. Так же отмечено, что происходит уменьшение амплитуды низкочастотной и возрастание амплитуды высокочастотной составляющих в спектре сигнала АЭ.

Теоретические исследования АЭ при износе обрабатываемого инструмента и контролируемой глубине резания рассмотрены в работе [13; 14]. При исследованиях энергии результирующего сигнала АЭ была представлена в виде

$$E_p(t) = \sum_j E_{jM}(t - t_j) + \sum_i E_{iM}(t - t_i), \quad (1)$$

где $t_j = j\Delta t_j \pm \delta_1$, $t_i = i\Delta t_i \pm \delta_2$ – моменты времени появления сигналов АЭ E_{jM} и E_{iM} соответственно при разрушении площадок обрабатываемого КМ и износе (разрушении) обрабатываемого КМ; j – номер разрушаемой площадки обрабатываемого КМ или номер формируемого импульсного сигнала АЭ E_{jM} ($j = 0, \dots, n$); Δt_j – интервал времени между началом формирования последующего импульсного сигнала АЭ E_{jM} по отношению к предыдущему; δ_1 – случайная составляющая в моменте времени появления каждого последующего импульсного сигнала АЭ E_{jM} ; i – номер разрушаемой площадки обрабатываемого КМ или номер формируемого импульсного сигнала АЭ E_{iM} ($i = 0, \dots, m$); Δt_i – интервал времени между началом формирования последующего импульсного сигнала АЭ E_{iM} по отношению к предыдущему; δ_2 – случайная составляющая в моменте времени появления каждого последующего импульсного сигнала АЭ E_{iM} ; $E_{jM} \sim U_{jM}^2$; U_{jM} – амплитуда j -го сигнала АЭ; $E_{iM} \sim U_{iM}^2$; U_{iM} – амплитуда i -го сигнала АЭ.

При этом энергия импульсных сигналов АЭ E_{jM} и E_{iM} определялась по выражениям

$$E_{jM}(t) = \Delta t_k \sum_{\ell} U_{jM\ell}^2(\ell \cdot \Delta t_k), \quad (2)$$

$$E_{iM}(t) = \Delta t_k \sum_{\ell} U_{iM\ell}^2(\ell \cdot \Delta t_k), \quad (3)$$

где $\ell = 0, \dots, k$ – номер расчетного значения амплитуды j -го и i -го сигналов АЭ на их длительности; Δt_k – интервал времени между расчетными значениями амплитуд для j -го и i -го сигналов АЭ ($\Delta t_k = \text{const}$).

Результаты исследований [13; 14] показали, что с возрастанием износа инструмента и контролируемой глубине резания происходит возрастание амплитудных и энергетических параметров АЭ. Однако возрастание энергетических параметров АЭ опережает возрастание ее амплитудных параметров. При этом наибольшую чувствительность к увеличению износа инструмента имеет дисперсия среднего уровня энергии сигналов АЭ.

В реальных технологических процессах увеличение износа обрабатываемого инструмента сопровождается уменьшением глубины резания, т. е. глубина резания является неуправляемой.

Для случая неуправляемой глубины резания, с учетом подходов, рассмотренных в работах [13; 14], возможно провести анализ влияния износа обрабатываемого инструмента на энергетические параметры сигналов АЭ для случая неуправляемой глубины резания.

Нерешенные части проблемы. Одним из параметров, необходимых для контроля и управления технологическими процессами механической обработки КМ, является износ режущего инструмента. Его увеличение приводит к изменению условий пары взаимодействующих материалов (обрабатываемый и обрабатывающий). Изменение условий взаимодействия будет влиять на формируемое акустическое излучение. Определение влияния износа инструмента на параметры АЭ является основой в разработке методов контроля и управления технологическими процессами. С данной точки зрения

значение имеют теоретические исследования. Моделирование АЭ с определением влияния износа инструмента на закономерности изменения ее параметров, с учетом неуправляемой глубины резания процесса механической обработки КМ, направлены на определение чувствительности и информативности параметров сигналов АЭ, что необходимо для разработки методов контроля и управления технологическими процессами. Такие исследования сокращают затраты на эксперименты и обеспечивают повышение достоверности их результатов.

Одним из наиболее емких параметров акустического излучения является энергия сигналов АЭ. Моделирование энергии акустического излучения при переходе от нормального к изношенному состоянию обрабатываемого инструмента из КМ, определение влияния износа на энергетические параметры сигналов АЭ при механической обработке КМ представляет не только научный, но и практический интерес.

Цель статьи. Целью работы является исследование влияния износа обрабатываемого инструмента из КМ на энергетические параметры акустического излучения при механической обработке КМ с неуправляемой глубиной резания для случая преобладающего механического разрушения его поверхностного.

Изложение основного материала. Моделирование энергии акустического излучения при износе инструмента, возникающего в процессе механической обработки КМ с неуправляемой глубиной резания, будем рассматривать для следующих условий. Обработка КМ до момента времени t_0 происходит без износа инструмента из КМ. При этом энергия акустического излучения формируется за счет преобладающего механического разрушения площадок обрабатываемого КМ. С момента времени t_0 возникает износ инструмента или разрушение его элементарных площадок, согласно модели FBM (fiber bundle model). При таких условиях энергия акустического излучения формируется за счет появления сигналов АЭ при протекании двух процессов – разрушения обрабатываемого и обрабатываемого КМ. В общем случае, как и в работе [14], энергия результирующего акустического излучения описывается выражением (1), а энергия импульсных сигналов АЭ E_{jM} и E_{iM} , соответственно, выражениям (2) и (3). Импульсные сигналы АЭ U_{jM} и U_{iM} в выражениях (2) и (3) формируются при разрушении элементарных площадок обрабатываемого и обрабатываемого КМ

$$U_j(t) = u_0 \alpha v_0 e^{r\alpha t} e^{-\frac{v_0}{r\alpha}(e^{r\alpha t} - 1)}, \quad (4)$$

$$U_i(t) = U_0 V_0 \sigma e^{R\sigma} e^{-\frac{t}{t_0} - V_0 \int_0^t e^{R\sigma} dt}, \quad (5)$$

где u_0 – максимальное упругое смещение при мгновенном разрушении заданной площади обрабатываемого КМ, состоящей из N_0 одиночных элементов; α – скорость нагружения; v_0, r – постоянные, определяющие свойства обрабатываемого КМ; U_0 – максимальное упругое смещение при мгновенном разрушении заданной площади обрабатываемого КМ, состоящей из N_1 одиночных элементов; $\sigma = \alpha t(1 - \alpha t)(1 - g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1 - \alpha t_0)(1 - g\sqrt{\alpha t_0})$; V_0, R – постоянные, зависящие от характеристик обрабатываемого КМ; t, t_0 – текущее время и время начала разрушения элементов КМ; g – коэффициент, зависящий от геометрических размеров элементов КМ.

Основным условием моделирования энергии акустического излучения является отсутствие контроля глубины резания КМ, т. е. при заданных технологических парамет-

рах (скорость механической обработки, глубина резания, физико-механические характеристики обрабатываемого и обрабатывающего КМ) увеличение износа инструмента приводит к пропорциональному уменьшению глубины резания обрабатываемого КМ. Площадки разрушения обрабатываемого и обрабатывающего КМ определяются, соответственно, количеством разрушаемых одиночных элементов N_0 и N_1 , т. е. пропорциональны величинам u_0 и U_0 в выражениях (4) и (5). При расчетах энергии акустического излучения, согласно (1), (2) и (3), примем следующие значения параметров u_0 и U_0 в относительных единицах. При отсутствии износа инструмента: $\tilde{u}_0=1$, $\tilde{U}_0=0$. При износе инструмента, который возникает в момент времени t_0 , значения параметров u_0 и U_0 в относительных единицах примем равными: $\tilde{u}_0=0,9$, $\tilde{U}_0=0,1$; $\tilde{u}_0=0,8$, $\tilde{U}_0=0,2$; $\tilde{u}_0=0,7$, $\tilde{U}_0=0,3$; $\tilde{u}_0=0,6$, $\tilde{U}_0=0,4$.

При моделировании параметры, которые входят в выражения (1),... (5), приведем к безразмерным величинам. Будем считать, что дисперсность свойств обрабатывающего КМ меньше дисперсности свойств обрабатываемого КМ, т. е. $r < R$. Значения параметров α , ν_0 , r , V_0 и R в относительных единицах примем равными: $\tilde{\alpha} = 10$; $\tilde{\nu}_0 = 1000000$; $\tilde{r} = 10000$; $\tilde{V}_0=1000000$; $\tilde{R}=14000$. Время появления износа инструмента t_0 , в относительных единицах, примем равным $\tilde{t}_0 = 0,0001$, а значение коэффициента g – $\tilde{g}=0,1$. Для заданных значений $\tilde{\alpha}$, \tilde{t}_0 и \tilde{g} величина параметра $\tilde{\sigma}_0$ будет равна: $\tilde{\sigma}_0=0,0009958408846174917$. Исходя из длительности формируемых сигналов АЭ U_{jM} и U_{iM} величины Δt_j и Δt_i , примем равными $\Delta \tilde{t}_j=0,0000015$; $\Delta \tilde{t}_i=0,0000015$. Начальные значения параметров $\tilde{\delta}_1$ и $\tilde{\delta}_2$ будем изменять в диапазоне величин, соответственно, от 0 до 0,0000049 и от 0 до 0,0000049 произвольным образом. При расчетах энергии сигналов АЭ, согласно (2) и (3), величину Δt_k примем равной $\Delta \tilde{t}_k=0,0000002$. При этом будем проводить расчеты 5000 значений энергий сигнала АЭ для каждой пары значений параметров u_0 и U_0 .

Результаты моделирования в виде зависимостей изменения энергии сигналов АЭ во времени в относительных величинах показаны на рис. 1.

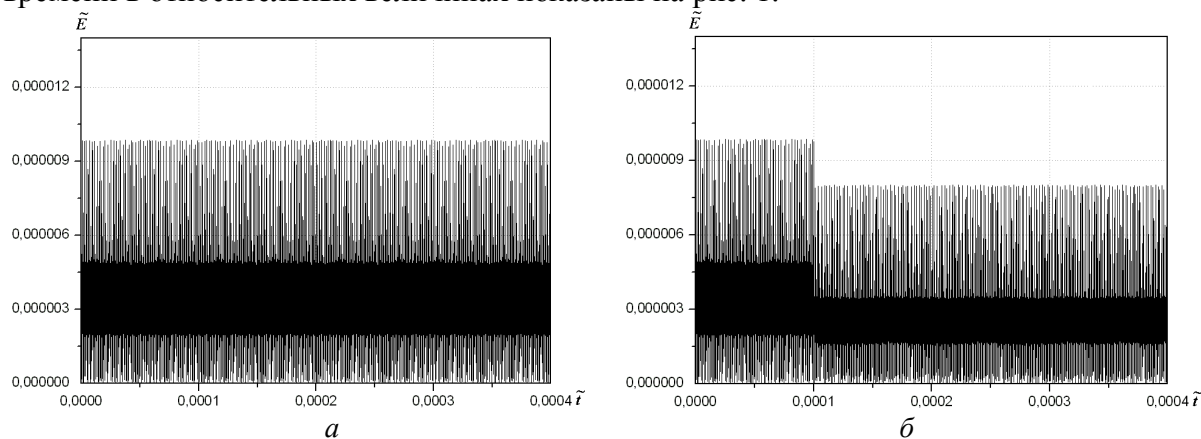


Рис. 1. Изменение энергии АЭ во времени в относительных единицах при механической обработке КМ. Интервалы времени: 0...0,0001 – отсутствие износа инструмента; 0,0001...0,0004 – наличие износа инструмента. Значения параметров \tilde{u}_0 и \tilde{U}_0 : а - $\tilde{u}_0=1$, $\tilde{U}_0=0$; для рисунков б–д – на интервале 0...0,0001: $\tilde{u}_0=1$, $\tilde{U}_0=0$; на интервале 0,0001...0,0004: б - $\tilde{u}_0=0,9$, $\tilde{U}_0=0,1$; в - $\tilde{u}_0=0,8$, $\tilde{U}_0=0,2$; г - $\tilde{u}_0=0,7$, $\tilde{U}_0=0,3$; д - $\tilde{u}_0=0,6$, $\tilde{U}_0=0,4$

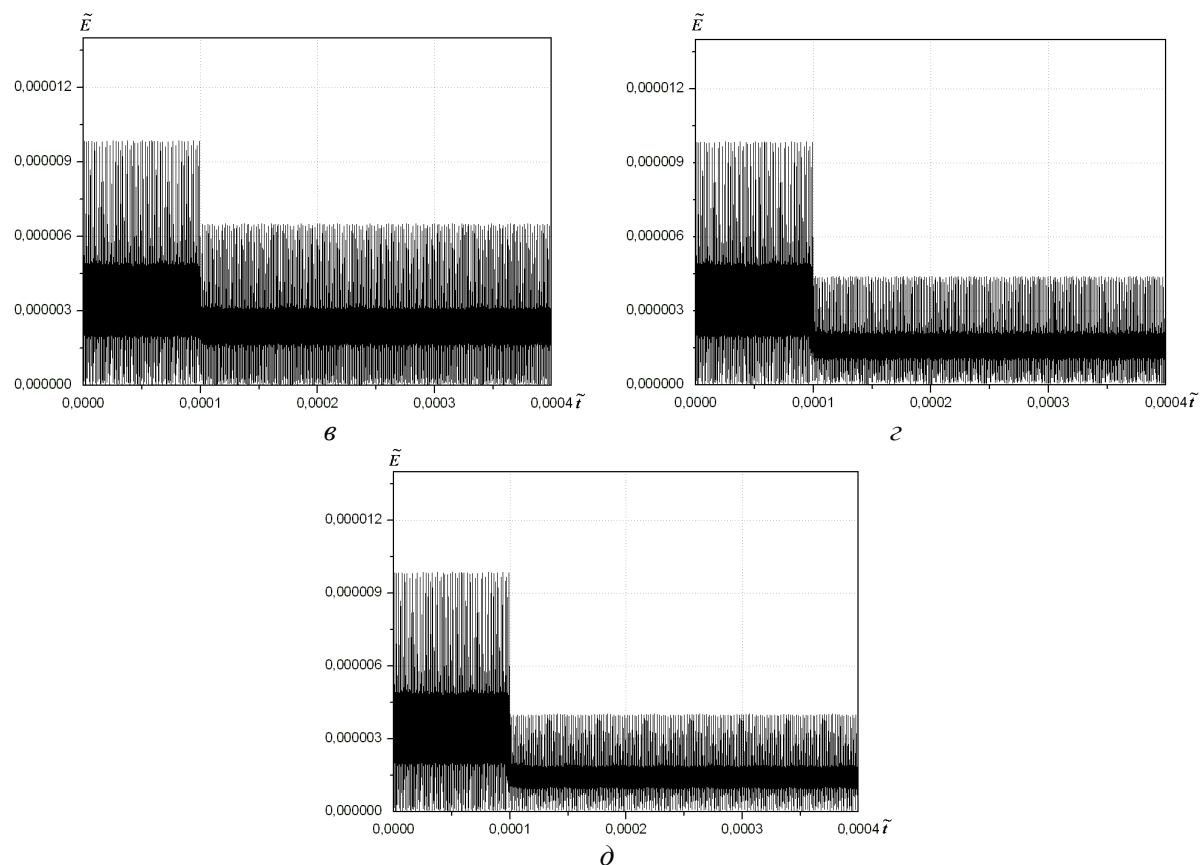


Рис. 1. Окончание (см. также с. 28)

Из рис. 1 видно, что возрастание износа инструмента из КМ для случая неуправляемой глубины резания не приводит к изменению характера акустического излучения. При этом наблюдается уменьшение среднего уровня энергии сигналов АЭ и величины его разброса.

Энергетические параметры сигналов АЭ при возрастании износа инструмента приведены в табл., где приняты следующие обозначения: \tilde{E} – средний уровень энергии АЭ; $s_{\tilde{E}}$ – стандартное отклонение среднего уровня энергии АЭ; $s_{\tilde{E}}^2$ – дисперсия среднего уровня энергии АЭ; \tilde{U}_0 – параметр, характеризующий увеличение износа обрабатываемого инструмента.

Таблица

Энергетические параметры акустического излучения при возрастании износа обрабатываемого инструмента и неуправляемой глубине резания

\tilde{y}_0	\tilde{U}_0	\tilde{E}	$s_{\tilde{E}}$	$s_{\tilde{E}}^2$
1,0	0	$3,19429 \cdot 10^{-6}$	$2,6312 \cdot 10^{-6}$	$6,92323 \cdot 10^{-12}$
0,9	0,1	$2,42363 \cdot 10^{-6}$	$2,13738 \cdot 10^{-6}$	$4,5684E \cdot 10^{-12}$
0,8	0,2	$2,09179 \cdot 10^{-6}$	$1,814 \cdot 10^{-6}$	$3,2906 \cdot 10^{-12}$
0,7	0,3	$1,72395 \cdot 10^{-6}$	$1,37911 \cdot 10^{-6}$	$1,90194 \cdot 10^{-12}$
0,6	0,4	$1,55429 \cdot 10^{-6}$	$1,07206 \cdot 10^{-6}$	$1,14931 \cdot 10^{-12}$

Из табл. видно, что при возрастании износа обрабатываемого инструмента и неуправляемой глубине резания происходит падение всех энергетических параметров результирующих сигналов АЭ.

Для оценки чувствительности энергетических параметров сигналов АЭ проведем обработку данных (табл.) с определением процентного их уменьшения при увеличении износа инструмента, по отношению к их начальным значениям при отсутствии износа инструмента. Результаты расчетов показаны на рис. 2, где приняты следующие обозначения: $\Delta \tilde{Z} \%$ – процентное уменьшение среднего уровня энергии сигнала АЭ, его стандартного отклонения или дисперсии; \tilde{y}_0 – параметр, характеризующий глубину механической обработки материала; \tilde{U}_0 – параметр, характеризующий износ обрабатываемого инструмента.

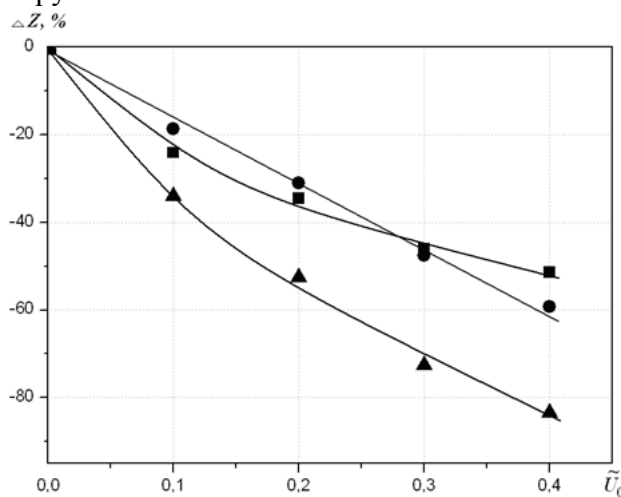


Рис. 2. Изменение процентного уменьшения среднего уровня энергии \tilde{E} сигналов АЭ (■), его стандартного отклонения $s_{\tilde{E}}$ (●) и дисперсии $s_{\tilde{E}}^2$ (▲) при механической обработке КМ в зависимости от износа обрабатываемого инструмента с неуправляемой глубиной резания

Полученные результаты показывают, что при механической обработке КМ для преобладающего механического разрушения его поверхности и неуправляемой глубины резания увеличение износа инструмента должно приводить к уменьшению статистических энергетических параметров сигналов АЭ (табл., рис. 1, рис. 2). При этом процентное уменьшение дисперсии среднего уровня энергии сигналов АЭ опережает процентное уменьшение среднего уровня энергии и его стандартного отклонения. Действительно, при увеличении износа инструмента до $\tilde{U}_0=0,3$ процентное уменьшение среднего уровня энергии сигналов АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии, по отношению к их значениям при $\tilde{U}_0=0$ составляют соответственно: $-46,03$; $-47,59$ и $-72,53 \%$. При увеличении износа до $\tilde{U}_0=0,4$ процентное уменьшение энергетических параметров сигналов АЭ уже составляют $-51,34$; $-59,26$ и $-83,40 \%$ соответственно.

Уменьшение энергетических параметров сигнала АЭ при возрастании износа обрабатываемого инструмента, очевидно, обусловлено тем, что падение энергетических параметров сигналов АЭ при уменьшении площади разрушения обрабатываемого КМ опережает возрастание энергетических параметров сигналов АЭ при увеличении износа обрабатываемого КМ.

Выводы. Проведено моделирование излучения энергии сигналов АЭ, формируемых в процессе механической обработки КМ, при условии отсутствия и износе обрабатываемого инструмента для случая неуправляемой глубины резания. Показано, что увеличение износа инструмента не влияет на характер акустического излучения, однако приводит к уменьшению среднего уровня энергии сигналов АЭ и величины его разброса. Определены значения статистических энергетических параметров сигналов АЭ при

отсутствии и износе инструмента из КМ. Показано, что возрастание износа инструмента приводит к уменьшению всех энергетических параметров сигналов АЭ. При этом с возрастанием износа инструмента скорость изменения среднего уровня энергии сигналов АЭ уменьшается, а скорость изменения его стандартного отклонения и дисперсии увеличивается. Проведены расчеты процентного уменьшения энергетических параметров сигналов АЭ при возрастании износа инструмента, по отношению к их значениям при отсутствии износа. Показано, что наибольшую чувствительность к износу имеет дисперсия среднего уровня энергии сигналов АЭ. Процентное уменьшение дисперсии среднего уровня энергии сигналов АЭ опережает процентное уменьшение среднего уровня энергии и его стандартного отклонения

Полученные результаты могут использоваться при разработке методов контроля, мониторинга и управления технологическими процессами механической обработки КМ. В первую очередь, это касается методов контроля состояния режущего инструмента в роботизированных технологических процессах, а так же управления технологическими процессами с использованием нейронных сетей. Дальнейшие исследования АЭ необходимо провести с определением чувствительности амплитудно-энергетических параметров АЭ к износу режущего инструмента при условии неконтролируемой глубины резания КМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Application of soft computing techniques in machining performance prediction and optimization: a literature review* / M. Chandrasekaran, M. Muralidhar, C. Murali Krishna, U. S. Dixit // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2010. – Vol. 46. – Pp. 445–464.
2. *Effect of the drilling process on the compression behavior of glass/epoxy laminates* / N. Z. Karimi, H. Heidary, G. Minak, M. Ahmadi // *Composite Structures*. – 2013. – Vol. 98. – Pp. 59–68.
3. *Siddhpura A. A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process* / A. Siddhpura, R. Paurobally // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2013. – Vol. 65, No. 1. – Pp. 371–393.
4. *Application of digital image processing in tool condition monitoring: A review* / S. Dutta, S. K. Pal, S. Mukhopadhyay, R. Sen // *Journal of Manufacturing Science and Technology*. – 2013. – Vol. 6. – Pp. 212–232.
5. *Teti R. Advanced IT Methods of Signal Processing and Decision Making for Zero Defect Manufacturing in Machining* / R. Teti // *Procedia CIRP*. – 2015. – Vol. 28. – Pp. 3–15.
6. *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 // *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*. – 2012. – Vol. 3, No. 3. – Pp. 547–555.
7. *Fractal analysis of cutting force and acoustic emission signals during CFRP machining* / X. Rimpaulta, J. F. Chatelainb, J. E. Klemberg-Sapiehac, M. Balazinski // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 46. – Pp. 143–146.
8. *Tool condition monitoring using multiple sensors approach in the microendmilling of aluminium alloy (AA1100)* / M. Prakash, M. Kanthababu, S. Gowri, R. Balasubramaniam, J. R. Jegaraj // *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014) (12–14 December, 2014, IIT Guwahati, Assam, India)*. – Pp. 394-1–394-6.
9. *Development of Condition Monitoring System for Micro Milling of PZT Deposited Si Wafer* / L. F. Chang, M. C. Lu, K. H. Chen, C. C. Wu // *9th international workshop on microfactories (IWMF2014, October 5-8, 2014, Honolulu, USA)*. – 2014. – Pp. 139–145.
10. *Giriraj B. Prediction of progressive tool wear using acoustic emission technique and artificial neural network* / B. Giriraj // *Journal of Civil Engineering Science*. – 2012. – Vol. 1, No. 1-2. – Pp. 43–46.
11. *Statistical Analysis of Acoustic Emission Signals Generated During Turning of a Metal Matrix Composite* / C. K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, B. Raj, S. Venugopal // *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. and Eng.* – 2012. – Vol. 34, No. 2. – Pp. 145–154.
12. *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. – Pp. 991–995.

13. Филоненко С. Ф. Влияние износа режущего инструмента при контролируемой глубине резания на акустическую эмиссию / С. Ф. Филоненко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 6/9 (78). – С. 47–50.

14. Filonenko S. F. Acoustic energy at controlled cutting depth of composite material / S. F. Filonenko // Electronics and Control Systems. – 2016. – No. 3 (49). – Pp. 93–99.

References

1. Chandrasekaran, M., Muralidhar, M., Murali Krishna, C., Dixit, U.S. (2010). Application of soft computing techniques in machining performance prediction and optimization: a literature review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 46, pp. 445–464.
2. Karimi, N.Z., Heidary, H., Minak, G., Ahmadi, M. (2013). Effect of the drilling process on the compression behavior of glass/epoxy laminates. *Composite Structures*, vol. 98, pp. 59–68.
3. Siddhpura, A., Paurobally, R. (2013). A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 65, issue 1, pp. 371–393.
4. Dutta, S., Pal, S.K., Mukhopadhyay, S., Sen, R. (2013). Application of digital image processing in tool condition monitoring: A review. *Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 6, pp. 212–232.
5. Teti, R. (2015). Advanced IT Methods of Signal Processing and Decision Making for Zero Defect Manufacturing in Machining. *Procedia CIRP*, vol. 28, pp. 3–15.
6. Fadare, D.A., Sales, W.F., Bonney, J., Ezugwu, E.O. (2012). Influence of cutting parameters and tool wear on acoustic emission signal in high-speed turning of Ti-6Al-4V Alloy. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, vol. 3, issue 3, pp. 547–555.
7. Rimpaulta, X., Chatelainb, J.F., Klemberg-Sapiehac, J.E., Balazinski, M. (2016). Fractal analysis of cutting force and acoustic emission signals during CFRP machining. *Procedia CIRP*, vol. 46, pp. 143–146.
8. Prakash, M., Kanthababu, M., Gowri, S., Balasubramaniam, R., Jegaraj, J.R. (2014). Tool condition monitoring using multiple sensors approach in the microendmilling of aluminium alloy (AA1100). *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014) (12 -14 December, 2014, IIT Guwahati, Assam, India)*, pp. 394-1–394-6.
9. Chang, L.F., Lu, M.C., Chen, K.H., Wu, C.C. (2014). Development of Condition Monitoring System for Micro Milling of PZT Deposited Si Wafer. *9th international workshop on microfactories (IWMF2014, October 5-8, 2014, Honolulu, USA)*, pp. 139–145.
10. Giriraj, B. (2012). Prediction of progressive tool wear using acoustic emission technique and artificial neural network. *Journal of Civil Engineering Science*, vol. 1, issue 1-2, pp. 43–46.
11. Mukhopadhyay, C. K., Jayakumar, T., Raj, B., Venugopal, S. (2012). Statistical Analysis of Acoustic Emission Signals Generated During Turning of a Metal Matrix Composite. *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. and Eng.*, vol. 34, issue 2, pp. 145–154.
12. Qin, F., Hu, J., Chou, Y.K., Thompson, R.G. (2009). Delamination wear of nano-diamond coated cutting tools in composite machining. *Wear*, vol. 267, pp. 991–995.
13. Filonenko, S. F. (2015). Vliyanie iznosa rezhushchego instrumenta pri kontroliruemoy glubine rezaniya na akusticheskuyu ehmissiyu [Influencing of cutting tool wearing at a controlled cutting depth on acoustic Emission]. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, issue 6/9 (78), pp. 47–50 (in Russian).
14. Filonenko, S.F. (2016). Acoustic energy at controlled cutting depth of composite material. *Electronics and Control Systems*, issue 3(49), pp. 93–99.

Филоненко Сергей Федорович – доктор технических наук, профессор, директор Института информационно-диагностических систем, Национальный авиационный университет (просп. Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина).

Філоненко Сергій Федорович – доктор технічних наук, професор, директор Інституту інформаційно-діагностичних систем, Національний авіаційний університет (просп. Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна).

Filonenko Sergii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director the Institute of informational-diagnostic systems National Aviation University (1 Komarova Str., 03058 Kyiv, Ukraine).

E-mail: fils0101@gmail.com

Scopus Author ID: 6602742195

Світлана Олійник, Людмила Калафатова, Дмитро Поколенко

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ПРОФІЛЮ ВИРОБІВ ТИПУ ОБОЛОНОК З КРИХКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

Светлана Олейник, Людмила Калафатова, Дмитрий Поколенко

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРОФИЛЯ ИЗДЕЛИЙ ТИПА ОБОЛОЧЕК ИЗ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Svitlana Oliinyk, Liudmyla Kalafatova, Dmytro Pokolenko

ANALYTICAL MODEL OF THE MECHANISM OF FORMATION OF TOTAL ERROR OF PROFILE OF SHELL TYPE WARES FROM BRITTLE NON-METAL MATERIALS IN DIAMOND GRINDING

У статті представлена узагальнена математична модель формування сумарної похибки профілю тонкостінної оболонки із ситалів з урахуванням факторів, що впливають на рівень коливань елементів технологічної системи шліфування і точність обробки. У моделі враховані вплив похибки встановлення заготовки на верстаті, налаштування технологічної системи шліфування та рівень коливань елементів технологічної системи на похибку утворення профілю виробу. Рішення, які отримані з використанням математичної моделі, дозволяють визначити сумарну похибку обробки тонкостінних виробів і досліджувати способи її зменшення.

Ключові слова: оболонка, алмазне шліфування, вібрації в технологічній системі, хвилястість, похибка профілю.

Рис.: 3. Бібл.: 8.

В статье представлена обобщенная математическая модель формирования суммарной погрешности профиля тонкостенной оболочки из ситаллов с учетом факторов, влияющих на уровень колебаний элементов технологической системы шлифования и точность обработки. В модели учтены влияния погрешности установки заготовки на станке, настройки технологической системы шлифования и уровень колебаний элементов технологической системы на погрешность образования профиля изделия. Решения, которые получены с использованием математической модели, позволяют определить суммарную погрешность обработки тонкостенных изделий и исследовать способы её уменьшения.

Ключевые слова: оболочка, алмазное шлифование, вибрации в технологической системе, волнистость, погрешность профиля.

Рис.: 3. Библ.: 8.

The paper provides a generalized mathematical model of formation of total error of the profile of a thin-walled pyroceram shell taking into account factors influencing the level of vibrations of elements of the grinding technological system and the accuracy of treatment. This model takes into account the error of workpiece installation on a machine-tool, technological grinding system settings, the level of vibration of technological system elements that influence the error of profile formation. Solutions obtained with the help of this mathematical model allow estimating the total error of thin-walled shells tooling. Thus, it becomes possible to investigate the methods of reducing this error.

Key words: shell, diamond grinding, vibrations in the technological system, waviness, profile error.

Fig.: 3. Bibl.: 8.

Постановка проблеми. Сьогодні основними напрямками підвищення конкурентоспроможності продукції авіакосмічної і ракетної промисловості є зниження трудомісткості та інтенсифікація виробництва при забезпеченні високої якості виробів, які можливі за рахунок підвищення гнучкості в організації виробничого процесу, оновлення та модернізації устаткування, застосування нового інструменту, прогресивних схем і режимів різання. До елементів такої продукції відносяться складнопрофільні тонкостінні оболонки (довжиною від 0,5 до 2 м і діаметром від 200 до 500 мм, з товщиною стінки 4–6 мм) з крихких неметалевих матеріалів типу технічних ситалів і кераміки, наприклад, обтічники ракет різних класів [1]. До таких оболонок висуваються високі вимоги з механічної міцності, термостійкості, радіотехнічних властивостей, які забезпечуються геометричною точністю профілю і стінки деталі й характеристиками поверхневого шару (структурою порушеного обробкою дефектного шару, поверхневими напруженнями, хвилястістю і шорсткістю обробленої поверхні).

Згідно зі схемою забезпечення експлуатаційних характеристик таких виробів – оболонок [1] досягнення заданих властивостей відбувається на етапах отримання заготовки, її механічної обробки, операції зміцнення, на якій повністю видаляється порушений

обробкою поверхневий шар деталі. Механічна обробка для матеріалів указанного класу, які відносяться до категорії важкооброблюваних, здійснюється способом алмазно-абразивної обробки (операції чорнового і чистового алмазного шліфування з наступним доведенням алмазними брусками), як єдино можливого в цих умовах.

Останніми роками в умовах жорсткої конкуренції перспективні підприємства переоснащуються новим високотехнологічним обладнанням, яке дає можливість впроваджувати більш ефективні схеми різання і застосовувати адаптивне управління ходом технологічного процесу. Останнє неможливо без встановлення якісних і кількісних зв'язків між діючими технологічними факторами і похибками оброблення. Тому в сучасному виробництві дослідження, які пов'язані з встановленням аналітичного зв'язку між явищами, що виникають під час механічної обробки складнопрофільних виробів, і похибками форми і геометрії виробів, набувають нового змісту й актуальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Складна форма заготовки виробу, який розглядається, визначається конфігурацією антенних пристроїв, місцем їх розташування і зовнішніми обводами об'єкта. Радіопрозорість таких виробів досягається дотриманням двох умов: по-перше, вибором відповідного матеріалу; по-друге, забезпеченням заданих параметрів стінки виробу та якості оброблених поверхонь. Радіопрозорі матеріали є діелектриками, які істотно не змінюють амплітуду і фазу електромагнітної хвилі радіочастотного діапазону, що проходить крізь виріб. До таких матеріалів відносяться технічні ситали і ситалокераміка [1]. Друга умова досягнення необхідного рівня радіотехнічних характеристик пов'язана з забезпеченням вимог щодо товщини стінки виробу, які також визначаються як розмірними характеристиками, так і геометричними відхиленнями його профілю. «Електрична» товщина, як характеристика радіопрозорості стінки (властивості об'єкта пропускати необхідний сигнал електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону при його мінімальному спотворенні) у будь-якій точці профілю цього виробу, пов'язана з фактичною величиною відносної діелектричної проникності конструкційного матеріалу і товщиною самої стінки.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Задана товщина виробу забезпечується на етапах алмазного шліфування зовнішньої стінки оболонки і наступної операції «вирізки». Операція «вирізка» складається з підгонки профілю зовнішньої поверхні оболонки відносно обробленого внутрішнього профілю за допомогою зміни глибини шліфування по позначених поясах уздовж осі виробу відповідно до результатів проміжного контролю товщини стінки на спеціальному пристосуванні. Ця операція характеризується досить високою трудомісткістю і виконується робочими високої кваліфікації. Зміна глибини шліфування здійснюється вручну, що супроводжується нерівномірною зміною товщини заготовки і глибини шліфування, викликає значні вібрації під час оброблення і як наслідок – виникнення різнотовщинності стінки по довжині виробу і хвилястості поверхні. В результаті формоутворення способом алмазного шліфування сукупна похибка обробки становить 0,8 мм, а хвилястість поверхні по висотному фактору – 0,13 мм.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення узагальненої математичної моделі формування сумарної похибки профілю під час механічної обробки тонкостінної складнопрофільної оболонки з урахуванням факторів, що впливають на рівень коливаний елементів технологічної системи (ТС).

Виклад основного матеріалу досліджень. Розглянемо остаточний етап алмазного шліфування – чистову обробку. Треба відзначити, що всі етапи алмазного шліфування деталі супроводжуються значними коливаннями в технологічній системі і динамічною нестабільністю процесу різання. У зв'язку зі зміною стану заготовки (товщини стінки, маси, жорсткості, нерівноваженості під час обробки, яка викликана здебільшого нерівномірністю припуску), застосуванням різних схем шліфування на різних етапах змі-

нуються домінуючі фактори, що впливають на рівень і характер коливань. Основними причинами появи значних коливань, як визначено раніше [2; 3], під час алмазного шліфування складнопрофільних оболонок слід вважати: недостатню жорсткість технологічної системи, зміну жорсткості заготовки при зміні координати точки прикладання сили різання, а також безпосередньо саму зону контакту, яка є генератором коливань.

Відповідно до послідовності процесу утворення похибки обробки чинники, що діють у технологічній системі і викликані похибками встановлення заготовки, статичного та динамічного налаштувань технологічної системи, породжують відхилення параметрів відносного руху деталі і різального інструменту. Під час обробки під дією сили різання проявляються такі фактори, як пружні віджимання, знос інструменту, коливання елементів технологічної системи [4]. Математичний опис процесу утворення похибки має на увазі складання рівнянь відносного руху точки контакту робочої поверхні «К» круга із заготовкою і технологічних баз оброблюваної заготовки (рис. 1, схема зовнішнього шліфування оболонки розглянутого типу).

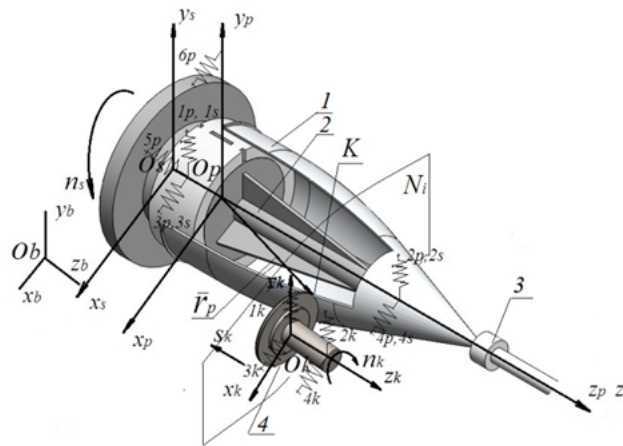


Рис. 1. Схема зовнішнього шліфування оболонки із зазначенням опорних точок

Шліфування виконується на універсальному токарному верстаті, який оснащений агрегатною шліфувальною голівкою, встановленою на супорті. На цьому етапі виріб, який оброблюється, являє собою тонкостінну оболонку 1, встановлену на оправці 2 і оперту на задній центр верстата через опору 3. Алмазний шліфувальний круг 4 встановлено на агрегатній шліфувальній голівці. Необхідно відзначити, що шліфування відбувається з глибиною 0,5...2 мм, при цьому глибина шліфування для різних ділянок оброблюваної зовнішньої поверхні може змінюватися в цих зазначених межах під час одного проходу шліфувального круга [5; 6], тобто реалізується процес «глибинного» шліфування.

Для математичного опису процесу утворення похибки обробленої поверхні позначимо зону контакту круга і виробу у вигляді точки «К». З метою уникнення зовеликого математичного виразу об'єднаємо ланки, що складають технологічну систему, у групи, параметри яких можливо виразити аналітично в доступній формі або отримати їх значення після проведення фізичних вимірювань у технологічній системі. Позначимо оброблювану підсистему заготовки (p); підсистему шпинделя-пристосування (s); підсистему верстата-станіни (b); підсистему ріжучого інструменту (k). Введемо такі позначення підсистем координат: \sum_b – технологічного обладнання або верстата-станіни; \sum_s – шпинделя-пристосування; \sum_p – оброблюваної заготовки; \sum_k – ріжучого інструменту. Розташування однієї з вищеперерахованих підсистем координат технологічної системи шліфування щодо іншої системи координат можна визначити трьома переміщеннями і трьома поворотами.

Щоб з'ясувати вплив вказаного фактора на точність обробки, введемо опорні точки $1s, 2s, 3s, 4s, 5s; 1p, 2p, 3p, 4p, 5p, 6p; 1k, 2k, 3k, 4k$ для кожної підсистеми координат, які дозволяють нам «зв'язати» точки на поверхні деталі зазначених підсистем з осями систем координат (рис. 1). Опорні точки являють собою пружні зв'язки між підсистемами. Радіус-вектор \bar{r}_p , який показаний на рис. 1, є основною геометричною характеристикою, за допомогою якої можна висловити величину похибки обробленої поверхні і встановити функціональні зв'язки між величинами діючих факторів і похибкою обробки [7]. Геометрично процес утворення поверхні деталі описується як результат зміни за величиною і напрямком цього радіус-вектора.

Згідно зі схемою обробки (рис. 1), система координат інструменту \sum_k обертається навколо своєї осі $O_k Z_k$ за законом $\phi' = \phi'(t)$ і рухається в подовжньому напрямку щодо системи верстата \sum_b за законом $\bar{S}_k = \bar{S}_k(t)$. Система координат шпинделя з пристосуванням \sum_s обертається навколо своєї осі $O_s Z_s$. Вже згадана схема зовнішньої обробки є окремим випадком схеми для виведення рівнянь відносного руху точки контакту шліфувального круга з поверхнею оброблюваної заготовки, які розглянуті в роботі [7]. Виконавши перетворення, отримаємо рівняння руху точки K у векторній формі:

$$\bar{r}_p = M_p M_s' M_s M_k' M_k \bar{r}_k + M_p M_s' M_s (\bar{r}_{o_k} + \bar{S}_k - \bar{r}_{o_s}) - M_p \bar{r}_{so_p}, \quad (1)$$

де M_p – матриця поворотів системи координат заготовки навколо осей $O_p X_p, O_p Y_p, O_p Z_p$;

M_s' – матриця повороту, яка враховує задане схемою відносного руху оброблюваної заготовки і шліфувального круга обертання системи координат «шпиндель-пристосування»;

M_s – матриця повороту системи координат «шпиндель-пристосування» навколо осей $O_s X_s, O_s Y_s, O_s Z_s$;

M_k' – матриця повороту, яка враховує задані схемою обертання і переміщення системи координат шліфувального круга в нерухомій системі координат верстата;

M_k – матриця повороту системи координат шліфувального круга навколо осей $O_k X_k, O_k Y_k, O_k Z_k$;

$\bar{r}_k, \bar{r}_{o_k}, \bar{r}_{o_s}, \bar{r}_{so_p}$ – радіус-вектори, які відповідно визначають місце знаходження: точки K у системі координат шліфувального круга, початка системи координат інструмента O_k у нерухомій системі координат верстата, початка системи координат «шпиндель-пристосування» O_s в нерухомій системі верстата, початка системи координат заготовки O_p в системі координат «шпиндель-пристосування»;

\bar{S}_k – вектор переміщення системи координат шліфувального круга в нерухомій системі координат верстата.

Заготовка-оболонка, що розглядається, є тілом обертання, тому її можна уявити як поєднання безлічі профілів поперечних перерізів N_i (рис. 1), що лежать у площинах, які перетинають заготовку перпендикулярно осі обертання. Основною геометричною характеристикою деталі, за відхиленнями якої можна робити висновки про похибки обробки, є радіус-вектор деталі \bar{r}_p .

Похибка профілю деталі в кожній її точці K_i визначається відповідно до виразу:

$$\Delta r_p^{-/} = r_{p_i}^{-/} - r_{p_{i0}}^{-/}, \quad (2)$$

де $r_{p_{i0}}^{-/}$ – значення проекції радіус-вектора \bar{r}_p на площину N_i в зоні контакту до відповідної точки контакту круга і заготовки « K », яке задається вимогами до виробу;

$r_{p_i}^{-/}$ – значення проекції вектора на площину N_i в зоні контакту до відповідної точки контакту круга і заготовки K , що отримано після обробки.

Нерівномірною хвилястістю поверхні, що є наслідком значних коливань елементів технологічної системи, впливає на точність товщини стінки оболонки. Фактори, які впливають на хвилястість поверхні, були розглянуті в роботах [2; 6]. За результатами аналізу вібраційних процесів у технологічній системі шліфування зроблені висновки, що основними чинниками, які впливають на рівень вібрацій, а отже, і якість поверхні, є змінна жорсткість оброблюваної заготовки (тонкостінної оболонки) і низька жорсткість конструкції пристосування – консольної оправки. Величина амплітуди коливань також залежить від характеристики шліфувального круга; його зносу, який пов'язаний зі схемами обробки, які визначають площину контакту круга і заготовки; дисбалансу шліфувального круга.

Аналітичні дослідження вібрацій під час алмазного шліфування зовнішнього контуру оболонок у роботах [2; 3; 8] проводилися з використанням системи рівнянь руху відносних мас і формотворчих систем верстата. Для спрощення аналітичних виразів рух елементів технологічної системи розглядався в напрямку нормальної складової сили різання, яка є найбільшою за величиною та максимально впливає на формування поверхні заготовки.

Результатом, який був отриманий при використанні розробленої математичної моделі [2; 3; 6], є траєкторія руху точки « K », яка розташована в зоні контакту інструменту з деталлю, і утворює поверхню заготовки у процесі проходження шліфувального круга. Положення миттєвих координат точки « K » протягом часу визначить геометрію формованої поверхні. Миттєва координата точки « K » визначається як сума миттєвих координат центру заготовки та інструменту, а також величини відносних зміщень поверхні заготовки-оболонки, які викликані коливаннями елементів ТС у процесі обробки:

$$\bar{X}_K = \bar{X}_k + \bar{X}_{sp} + \bar{X}_s, \quad (3)$$

де \bar{X}_K – миттєва координата точки « K » у напрямку дії нормальної складової сили різання $P_n(t)$ і відносно теоретичного контуру сформованої поверхні;

\bar{X}_k , \bar{X}_{sp} , \bar{X}_s – миттєві координати осей, відповідно: шліфувального круга в напрямку дії $P_n(t)$ і відносно теоретичного контуру сформованої поверхні; підсистеми «оправка-заготовка» в напрямку дії $P_n(t)$ і відносно теоретичного контуру сформованої поверхні; шпинделя верстата в напрямку дії $P_n(t)$ і відносно теоретичного контуру сформованої поверхні.

Колівання лінії контакту шліфувального круга і заготовки у процесі формоутворення залежать від коливань елементів ТС, які з'являються в результаті дії різноманітних факторів й у своєму поєднанні призводять до появи періодичної похибки на поверхні обробленої заготовки.

Включення динамічних факторів до рівняння руху (1) для точки « K » дозволить побудувати більш точний профіль поверхні, тому що враховує більше зазначених вище факторів, ніж наведено у рівнянні (3). Уявимо схему обробки заготовки з урахуванням динамічних характеристик (рис. 2).

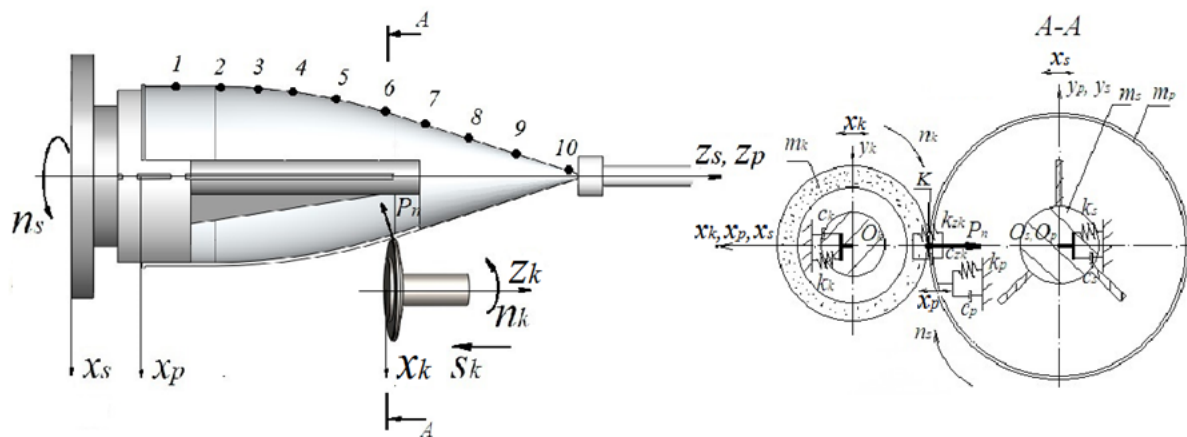


Рис. 2. Схема обробки заготовки на остаточному етапі шліфування зовнішньої поверхні з урахуванням динамічних характеристик

Таку схему з урахуванням певних припущень можна привести до еквівалентної розрахункової ланцюгової схеми, яка показана на рис. 3, де m_k – підсистема ТС «шпиндель – агрегатна головка-супорт», m_{sp} – підсистема ТС «оправка – заготовка», m_s – підсистема шпиндельного вузла.

Технологічну систему алмазного шліфування зовнішньої поверхні заготовки визначимо у вигляді тримасової моделі. На схемі (рис. 3) елементи системи позначені відповідно до схеми, що наведена на рис. 1: оброблювана заготовка – m_p ; оправка, на якій встановлена заготовка, m_{sp} ; інструмент (алмазний шліфувальний круг) – m_k ; шпиндельний вузол – m_s .

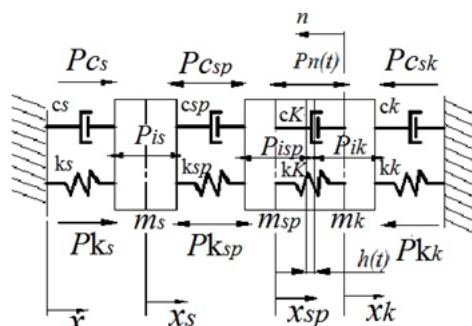


Рис. 3. Еквівалентна розрахункова ланцюгова схема шліфування зовнішньої поверхні тонкостінної оболонки обертання з урахуванням динамічних характеристик

Для остаточного етапу оброблення, якщо оброблювана заготовка є тонкостінною оболонкою з товщиною стінки 4..6 мм і при цьому маса заготовки оболонки значно менше маси оправки, на якій вона встановлена, розрахунок коливань поверхні оболонки буде здійснюватися за законами теорії оболонок, а в розрахунковій схемі (рис. 3) заготовка й оправка представлені як m_{sp} .

Колівання опорних точок елементів технологічної системи ($1s, 2s, 3s, 4s, 5s; 1p, 2p, 3p, 4p, 5p, 6p; 1k, 2k, 3k, 4k$, див. рис. 1) будуть моделюватися в напрямку дії нормальної складової сили різання, яка описується функцією $P_n(t)$, як сили, що найбільше впливає на виникнення динамічної нестійкості процесу оброблення.

Розглянемо рух замкнутої динамічної системи в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні. Підсистема технологічної системи «шпиндель – агрегатна головка – супорт» m_k з'єднується з опорою (станіною верстата) через пружний k_k і дисипативний c_k

елементи. Підсистема «шпиндельний вузол верстата» m_s через пружний k_s і дисипативний c_s елементи також з'єднується з опорою (розташованою в системі верстата $\sum b$). Підсистема «оправка – заготовка» через пружний k_{sp} і дисипативний c_{sp} елементи приєднана до шпинделя верстата. Узагальнені координати переміщення мас: $m_k - x_k$, $m_{sp} - x_{sp}$, $m_s - x_s$. Координатою n_k позначено динамічний вплив з боку шліфувального круга, який обумовлений його биттям і огранкою, і відбувається з частотою, що відповідає частоті обертання інструменту.

Функцію $P_n(t)$ можна уявити таким чином:

$$P_n(\tau) = P_{n0} + \sum_{i=1}^n P_{ni} \sin \omega \tau, \quad (4)$$

де P_{n0} – значення статичної складової сили різання;

i – гармоніки, обумовлені: $i=1$ – дисбалансом (биттям) круга, наприклад, через його встановлення з похибкою, $i=2$ – відхиленням форми шліфувального круга від ідеальної;

P_{ni} – сили, які викликані позначеними вище явищами, що виникають у процесі шліфування;

ω і τ – відповідно, кругова частота і час.

Рівняння силового балансу для цієї технологічної системи зовнішнього шліфування можуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} m_k \ddot{x}_k - c_k \dot{x}_k + c_K (\dot{x}_k - \dot{x}_{sp}) - k_k x_k + k_K (x_k - x_{sp}) &= c_K \dot{n} + k_K n; \\ m_{sp} \ddot{x}_{sp} - c_K (\dot{x}_k - \dot{x}_{sp}) + c_{sp} (\dot{x}_{sp} - \dot{x}_s) - k_K (x_k - x_{sp}) + k_{sp} (x_{sp} - x_s) &= -c_K \dot{n} - k_K n; \\ m_s \ddot{x}_s - c_{sp} (\dot{x}_{sp} - \dot{x}_s) + c_s \dot{x}_s + k_{sp} (x_{sp} - x_s) + k_s x_s &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Моделювання коливань стінки заготовки, яке розглянуто в роботі [3], враховується в моделі (5) через зміни глибини шліфування в зоні контакту. Модель (5) дозволила отримати амплітуди коливань елементів технологічної системи, величина яких залежить від режимів обробки, коливань елементів технологічної системи, у тому числі шліфувального круга і тонкостінної оболонки, і, як наслідок, коливань сили різання у разі зміни глибини різання.

Отримуючи значення переміщень x елементів технологічної системи в опорних точках у результаті рішення системи рівнянь (5) і підставляючи їх у рівняння (1), визначимо відхилення параметрів відносного руху, зумовлених переміщенням однієї системи координат відносно іншої (Δx , Δy , Δz – лінійні переміщення, $\Delta \phi$, $\Delta \varphi$, $\Delta \theta$ – обертання відносно осей) в опорних точках із урахуванням коливань елементів технологічної системи. Отримавши значення відносних переміщень координатних систем за один оборот заготовки і моделюючи необхідну кількість обертів, можливо визначити сумарну похибку одержуваного профілю залежно від величини і напрямків дії факторів, що впливають на похибку обробки.

Висновки і пропозиції. Результати досліджень, які були отримані раніше за допомогою динамічної моделі (5) і моделі утворення хвилястості поверхні (3), дозволили: визначити діапазон безвібраційних режимів алмазного шліфування зовнішньої поверхні й оптимальне розташування опор оправки, яке враховує коливання стінки оболонки; дослідити способи зменшення коливань стінки оболонки; розробити способи зменшення хвилястості на етапі оброблення зовнішньої поверхні [6]. Зменшення хвилястості поверхні дозволило підвищити точність по товщині стінки оболонки і знизити трудомісткість ручних доводочних робіт. Однак це не виключає операції вирізки в існуючому технологічному процесі.

Модель (1) дозволяє дослідити способи зменшення сумарної похибки обробки, а також визначити рівень факторів, що впливають на похибку формування профілю під час механічного оброблення на всіх операціях алмазного шліфування оболонки в порядку технологічного процесу, що на чистовій обробці приводить до необхідності виключення цієї похибки на операції «вирізки». До згаданих чинників відносять фактори нерівномірності припуску, який утворюється на стадії отримання заготовки, і його копіювання на профіль оброблюваної деталі, а також змінних по довжині значень жорсткості заготовки і пристосування та копіювання похибки форми заготовки з урахуванням рівня уточнення в подовжньому та радіальному напрямках. Перспектива цього дослідження полягає в можливості підвищення ефективності та рівня автоматизації обробки деталей – оболонок складної просторової форми із крихких неметалевих матеріалів завдяки удосконаленню технології заготівельних операцій, а також розроблення прогресивних схем шліфування при використанні верстатів з ЧПУ.

Список використаних джерел

1. Гусев В. В. Технологическое обеспечение качества обработки изделий из технической керамики : монография / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова. – Донецк : ДонНТУ, 2012. – 252 с.
2. Гусев В. В. Обоснование расчетной схемы для исследования динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситалла / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова, С. Ю. Олейник // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Х. : НТУ «ХПІ», 2011. – Вип. 6. – С. 14–23.
3. Гусев В. В. Исследование динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситаллов / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова, С. Ю. Олейник // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт : зб. наук. пр. – 2012. – Вип. 128. – С. 60–67.
4. Поколенко Д. В. Підвищення ефективності обробки антенних обтічників із ситалів за рахунок удосконалення технології алмазного шліфування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / Поколенко Дмитро Валерійович ; ДонНТУ. – Донецьк, 2014. – 20 с.
5. Олейник С. Ю. Оценка параметров волнистости поверхности на операции глубинного алмазного шлифования крупногабаритных тонкостенных ситалловых оболочек / С. Ю. Олейник // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Машинобудування і машинознавство». – 2015. – № 1 (12). – С. 40–46.
6. Олійник С. Ю. Забезпечення якості обробки тонкостінних ситаллових оболонок шляхом покращення динамічних характеристик технологічної системи шліфування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / Олійник Світлана Юрійвна ; ДонНТУ. – Красноармійськ, 2014. – 20 с.
7. Адаптивное управление станками : монография / [под ред. Б. С. Балакашина]. – М. : Машиностроение, 1973. – 688 с.
8. Гусев В. В. Повышение виброустойчивости технологической системы во время алмазного шлифования тонкостенных оболочек вращения из ситаллов / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова, С. Ю. Олейник // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. научн.-техн. сб. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – Вип. 83. – С. 86–92.

References

1. Gusev, V.V. & Kalafatova, L.P. (2012). *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva obrabotki izdelii iz tekhnicheskoi keramiki [Technological security of quality processing of products from technical ceramics]*. Donetsk: DonNTU (in Russian).
2. Gusev, V.V., Kalafatova, L.P. & Oleinik, S.Iu. (2011). Obosnovanie raschetnoi skhemy dlia issledovaniia dinamicheskogo sostoianiia tekhnologicheskoi sistemy almazno-abrazivnoi obrabotki tonkostennykh obolochek iz sitalla [Substantiation of the settlement scheme for the research of the dynamic condition of technological system of diamond-abrasive processing of thin-walled shells from glass-ceramics]. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni – Modern technologies of engineering*, no. 6, pp. 14–23 (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Gusev, V.V., Kalafatova, L.P. & Oleinik, S.Iu. (2012). Issledovanie dinamicheskogo sostoiania tekhnologicheskoi sistemy almazno-abrazivnoi obrabotki tonkostennykh obolochek iz sitallov [Investigation of the dynamic process of diamond-abrasive treatment of glass-ceramic's thin-walled shells]. *Visnyk SevNTU. Serii: Mashynopryladobuduvannia ta transport – Journal of the Sevastopol National Technical University. Series: Mechanical Instrumentation and Transport*, no. 128, pp. 60–67 (in Russian).
4. Pokolenko, D.V. (2014). Pidvyshchennia efektyvnosti obrobky antenykh obtichnykiv iz sytaliv za rakhunok udoskonalennia tekhnolohii almaznogo shlifuvannia [Increase of the efficiency of processing the antenna domes made of cetalss due to upgrading of diamond grinding technology]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Donetsk: DonNTU (in Ukrainian).
5. Oleinik, S.Iu. (2015). Otsenka parametrov volnistosti poverkhnosti na operatsii glubinnoho almaznogo shlifovannia krupnogabaritnykh tonkostennykh sitallovykh obolochek [Estimation of parameters of waviness on the surface on the operation of deep diamond grinding of large thin-walled shells from cetalss]. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Serii: «Mashynobuduvannia i mashynoznavstvo» – Bulletin of DonNTU, Series: Mechanical Engineering*, no. 1 (12), pp. 40–46 (in Russian).
6. Oliinyk, S.Iu. (2014). Zabezpechennia yakosti obrobky tonkostinnykh sytalovykh obolonok shliakhom pokrashchennia dynamichnykh kharakterystyk tekhnolohichnoi systemy shlifuvannia [Assurance of accuracy of machining thin-walled shells from pyroceram by improving the dynamic characteristics of technological system of grinding]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Krasnoarmiysk: DonNTU (in Ukrainian).
7. Balakashin B.S. (ed.) (1973). *Adaptivnoe upravlenie stankami [Adaptive control of machines]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
8. Gusev, V.V., Kalafatova, L.P. & Oleinik, S.Iu. (2013). Povyshenie vibroustoichivosti tekhnologicheskoi sistemy vo vremia almaznogo shlifovannia tonkostennykh obolochek vrashcheniia iz sitallov [Increase the vibration resistance of a technological system during diamond grinding of thin-walled shells from glass-ceramics]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting & tool in technological system*, no. 83, pp. 86–91 (in Russian).

Олійник Світлана Юрївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології машинобудування, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

Олейник Светлана Юрьевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

Oliinyk Svitlana – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Machine Building Technology Department, Donbass State Engineering Academy (72 Academy Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).
E-mail: sveta.oleynik30@gmail.com

Калафатова Людмила Павлівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри гірничих машин і мехатронних систем машинобудування, Донецький національний технічний університет (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

Калафатова Людмила Павловна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горных машин и мехатронных систем машиностроения, Донецкий национальный технический университет (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина).

Kalafatova Liudmyla Pavlivna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Mountain Machines and Mechatronic Systems of Engineer, Donetsk National Technical University (2 Shybankova Sq., 85300 Pokrovsk, Ukraine).

E-mail: lpk04nov@mail.ru

Поколенко Дмитро Валерійович – кандидат технічних наук, начальник науково-вимірвального центру Костянтинівського державного науково-виробничого підприємства «Кварсит» (вул. Шмідта, 20, м. Костянтинівка, 85110, Україна).

Покотенко Дмитрій Валерьевич – кандидат технических наук, начальник научно-измерительного центра Константиновского научно-производственного предприятия «Кварсит» (ул. Шмидта, 20, г. Константиновка, 85110, Украина).

Pokolenko Dmytro – PhD in Technical Sciences, Chief of Scientifically-Measuring Center of Konstantinovka Scientific and Production Enterprise “Kvarsit” (20 Shmidta Str., 85110 Konstantinovka, Ukraine).

E-mail: pokolenko.dim@gmail.com

УДК 621.923.42

*Геннадій Пасов, Володимир Венжега, Андрій Рудик***НАВЧАЛЬНИЙ СИМУЛЯТОР РОБОТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК***Геннадій Пасов, Владимир Венжега, Андрей Рудик***УЧЕБНЫЙ СИМУЛЯТОР РОБОТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ***Hennadii Pasov, Volodymyr Venzheha, Andrii Rudyk***TRAINING SIMULATOR OF ROBOTIC TECHNOLOGICAL COMPLEX ON THE BASIS OF CNC LATHE**

У статті розглянуто можливість використання в навчальному процесі симуляторів, зокрема симулятора роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата 16K20Ф3 із системою ЧПК 2P22 у процесі вивчення таких дисциплін, як «Верстати з числовим програмним керуванням та верстатні комплекси», «Системи керування верстатів та верстатних комплексів» та «Підйомно-транспортне обладнання і роботи».

Цей симулятор дозволяє імітувати процес програмування верстата з одночасним відпрацюванням розробленої програми. У разі неправильного програмування симулятор знаходить помилки і вказує користувачу на них. Таким чином, симулятор дозволяє зробити процес навчання більш цікавим, наочним та дешевшим.

Ключові слова: симулятор, роботизований технологічний комплекс, токарний верстат, числове програмне керування.

Рис.: 14. Бібл.: 11.

В статье рассмотрена возможность использования в учебном процессе симуляторов, в частности симулятора роботизованного комплекса на базе токарного станка 16K20Ф3 с системой ЧПУ 2P22 при изучении таких дисциплин, как «Станки с числовым программным управлением и станочные комплексы», «Системы управления станков и станочных комплексов» и «Подъемно-транспортное оборудование и работы».

Данный симулятор позволяет имитировать процесс программирования станка с одновременной отработкой разработанной программы. При неправильном программировании симулятор находит ошибки и указывает пользователю на них. Таким образом, симулятор позволяет сделать процесс обучения более интересным, наглядным и дешевым.

Ключевые слова: симулятор, роботизированный технологический комплекс, токарный станок, числовое программное управление.

Рис.: 14. Библ.: 11.

The paper considers the use in the educational process simulation, including simulation robotyzovannoho technological complex based lathe 16K20K3 the system CNC 2P22 in the study of such subjects as "Machine with numerical control and machines complexes", "Control of machines and machine systems" and "Hoists and robot".

This simulator allows you to simulate the process of programming the machine while practicing our program. Incorrect programming simulator is user error and points on them. Thus, the simulator allows to make learning more interesting, clear and cheaper.

Key words: Sim, robotic technological complex, lathe, numerical control.

Fig.: 14. Bibl.: 11.

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно при засвоєнні будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому як методичний наочний матеріал використовуються, здебільшого, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем елементів [2–4]. Саме використання ЕОМ та відповідних програмних продуктів і дозволяє вдосконалити навчальний процес (та освіту загалом), надаючи йому інтенсивності та інтерактивного змісту [5–10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Необхідно у процесі вивчення навчальних дисциплін «Верстати з числовим програмним керуванням та верстатні комплекси», «Системи керування верстатів та верстатних комплексів» та

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

«Підйомно-транспортне обладнання і роботи» використовувати симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з числовим програмним керуванням як більш наочний та дешевший спосіб.

Мета статті. Метою цієї роботи є пропозиція використання в навчальному процесі симулятора роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата 6К20Ф3С32 із системою керування 2Р22.

Виклад основного матеріалу. В Чернігівському національному технологічному університеті на кафедрі «Автомобільний транспорт та галузеве машинобудування» при вивченні таких навчальних дисциплін, як «Верстатні комплекси», «Системи керування верстатів та верстатних комплексів» та «Підйомно-транспортне обладнання і роботи» запропоновано використовувати навчальний симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК), розроблений фірмою SunSpire Art group [11].

Симулятор є комп'ютерним віртуальним тренажером, який призначений для ознайомлення студентів з принципами побудови системи керування, пристроями їх структурних апаратних складових елементів, методами і засобами програмування роботи автоматизованого обладнання. Мета роботи симулятора полягає в наочній демонстрації і навчанні програмуванню процесу оброблення деталі на роботизованому технологічному комплексі на базі токарного верстата 16К20Ф3С32 з системою керування 2Р22.

Для коректної роботи програми використовується ПК, який відповідає мінімальним системним вимогам:

- частота процесора не нижче 2,0 ГГц;
- обсяг оперативної пам'яті не менше 2,0 Гб;
- обсяг відеопам'яті не менше 512 Мб;
- вільне місце на диску не менше 300 Мб;
- мінімальна роздільність екрана: 1024x768x32;
- наявність звукової плати і колонок (або навушників);
- операційна система Windows XP / Vista / 7 і вище;
- встановлені драйвера DirectX версії 9с і вище.

Програмний продукт протестований, при цьому встановлена оптимальна конфігурація обладнання:

- процесор Pentium (R) Dual-Core E5300 2,60 ГГц;
- обсяг оперативної пам'яті 2,00 Гб;
- відеоадаптер NVidia GeForce GTX 460, 768 Мб;
- монітор Acer V193, дозвіл 1280x1024x32.
- звукова плата Realtek HD.

Для роботи симулятора на комп'ютері повинен бути встановлений пакет бібліотек Microsoft Visual C ++ (vcredist x86 / x64), що додається в папці з програмою. Для початку роботи із симулятором потрібно запустити файл "SimulatorRTK.exe".

Після запуску програми на екрані відобразиться заставка (рис. 1).

Після заставки відкриється меню вибору заготовок (рис. 2). Для вибору конкретного типорозміру потрібно натиснути лівою кнопкою миші по значку заготовки, а потім на кнопку "ОК". За замовчуванням обрана заготовка L100 D50 (довжина 100 мм, діаметр 50 мм).

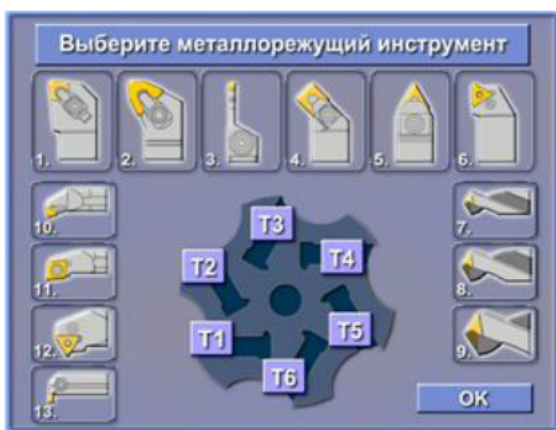
Далі відкриється меню вибору ріжучого інструменту. Залежно від того, який типорозмір заготовки обраний – коротка (довжина 100...150 мм) або довга (довжина 200...300 мм), в меню вибору інструменту будуть відображені доступні інструменти. У разі коротких заготовок доступні всі інструменти – обточувальні й розточувальні різці, а також свердла (рис. 3, а), в разі, якщо обрана заготовка довжиною 200 мм і більше – доступні тільки обточувальні різці (рис. 3, б).



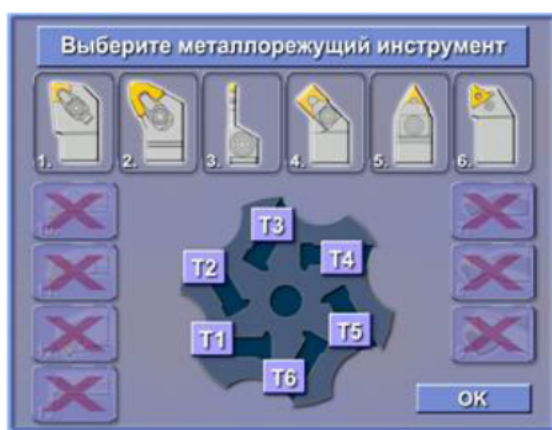
Рис. 1. Заставка програми



Рис. 2. Меню вибору заготовок



а



б

Рис. 3. Меню вибору ріжучого інструменту:

а – комплект для роботи з короткими заготовками; б – комплект для роботи з довгими заготовками

Щоб вибрати потрібний різець або свердло, потрібно натиснути по зображенню інструменту лівою кнопкою миші, при цьому зображення обраного інструменту підсвітиться червоним кольором. Далі необхідно вибрати позицію розміщення обраного інструменту в револьверній головці. Револьверна головка містить 6 позицій. Щоб вибрати потрібну позицію, потрібно натиснути на кнопки із зображенням “Т1...Т6”. Інструмент буде встановлений в обрану позицію. Встановлені в позиції інструменти можна міняти, для цього вибирають інший інструмент і встановлюють його в ту ж позицію. Для продовження роботи необхідно вибрати як мінімум один інструмент і встановити його в позицію “Т1”. Після комплектації револьверної головки натискають на кнопку “ОК”.

Після завантаження 3D-оточення симулятора з'явиться повідомлення (рис. 4).

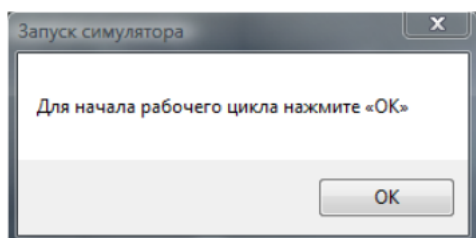


Рис. 4. Повідомлення про готовність почати роботу

При натисканні на кнопку «ОК» почнеться автоматичний цикл роботи промислового робота, що включає переміщення заготовки по тактовому столу, захоплення заготовки роботом та її установку в патрон верстата. Під час виконання автоматичного циклу керування камерою недоступно. Після повернення промислового робота в початкове

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

положення на екрані з'являється вікно виду поздовжнього перерізу заготовки (рис. 5, а), яке центроване на базову точку поточного інструменту, і вікно текстового редактора керуючих програм (рис. 5, б).

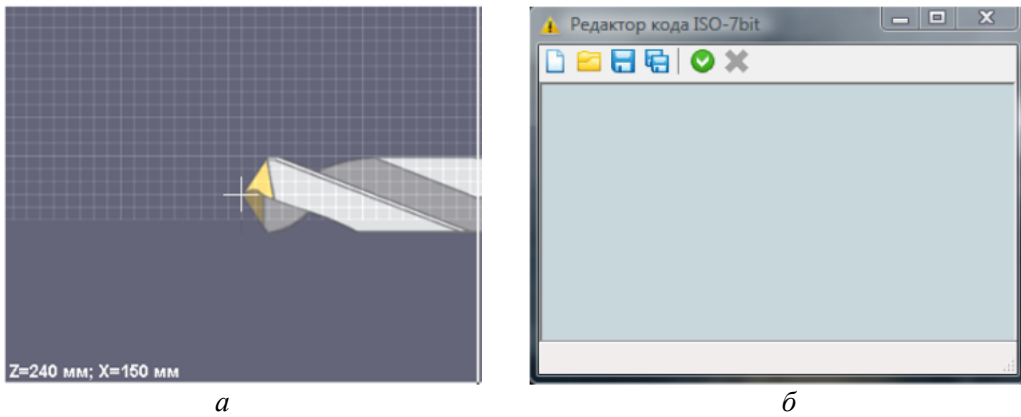


Рис. 5. Вікно: а – виду поздовжнього перерізу заготовки; б – текстового редактора керуючих програм

У нижній частині основного 3D-виду розташована панель статусу (рис. 6), що відображає необхідну загальну інформацію.

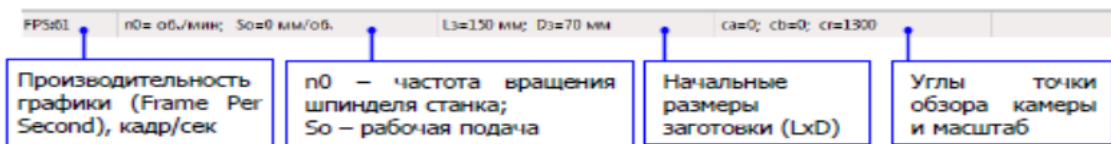


Рис. 6. Панель статусу та її елементи

Графічна продуктивність (FPS) безпосередньо залежить від технічних характеристик комп'ютера. Оптимальній швидкості відображення графіки відповідає FPS не менше 60. Під час роботи симулятора FPS буде змінюватися в міру виконання різних за ресурсоемністю операцій. Найбільш ресурсоемною операцією є імітація процесу різання.

Режим різання (n_0 і S_o) задається пізніше в керуючій програмі.

Початкові розміри заготовки відповідають обраному її типорозміру і не змінюються протягом усього технологічного циклу.

Кути точки огляду камери є координатами положення камери 3D огляду в сферичній системі координат (рис. 7). Камера відцентрована на вісь верстата.

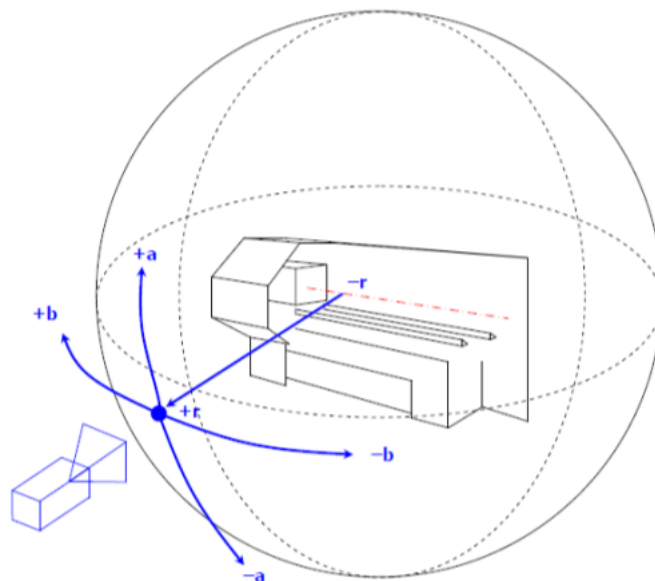


Рис. 7. Система координат камери перегляду 3D

Переміщення камери (за напрямками а і b) здійснюється за допомогою клавіш курсора або наведенням покажчика миші до країв екрана. Наближення / віддалення камери (в напрямку г) здійснюється обертанням колеса миші.

У правому верхньому кутку основного 3D-вигляду розташовані 4 функціональні кнопки (рис. 8).

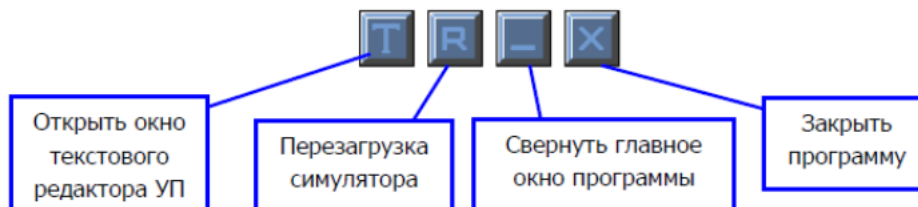


Рис. 8. Функціональні кнопки основного 3D-вигляду

Кнопка «Відкрити вікно текстового редактора КП» відображає на екрані вікно текстового редактора в разі, якщо вона була закрита.

Кнопка «Перезавантаження симулятора» призначена для перезапуску програми, при цьому робота знову починається з меню вибору заготовок.

Кнопка «Згорнути головне вікно програми» згортає вікно симулятора і відображає його у вигляді кнопки на панелі завдань Windows.

Кнопка «Закрити програму» служить для виходу із симулятора.

У вікні текстового редактора КП зверху розташована панель інструментів, а знизу панель статусу КП, в якій відображається поточний кадр КП (рис. 9).

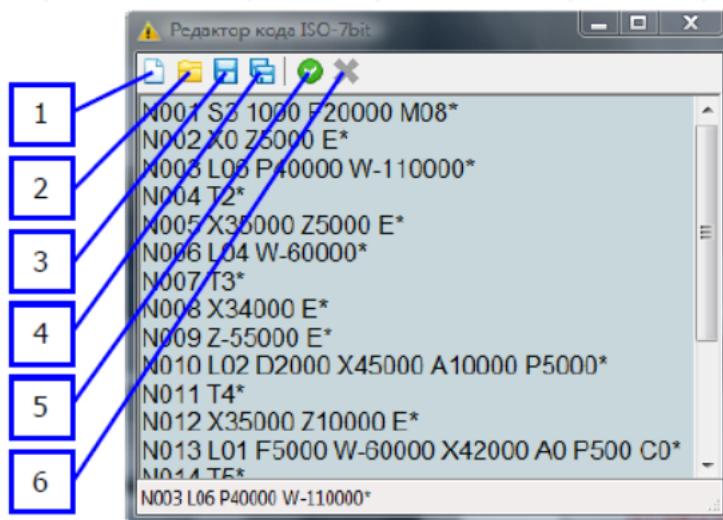


Рис. 9. Функціональні кнопки вікна текстового редактора КП

Основні елементи панелі інструментів:

- 1 – створити новий документ;
- 2 – відкрити існуючий документ;
- 3 – зберегти поточний документ;
- 4 – зберегти документ у новому файлі;
- 5 – запустити керуючу програму;
- 6 – зупинити виконання керуючої програми.

Файли КП зберігаються в текстовому форматі *.rtf. Під час виконання КП кнопки 1–5 недоступні. Якщо під час виконання КП знаходиться помилка, виконання програми автоматично призупиняється.

У верхній частині вікна основного 3D-вигляду розташовані дві піктограми (рис. 10), що відображають стан шпинделя (обертання / статичне стан) і подачу MOP.



Рис. 10. Піктограми стану шпинделя і подачі МОР

Після виконання КП, у тому випадку, якщо заготовка не переверталася іншою стороною (другий установ), на екрані з'явиться вікно вибору дії (рис. 11).

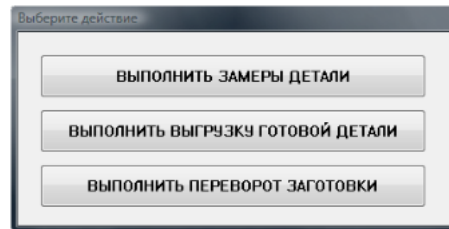


Рис. 11. Вікно вибору дії після обробки першої сторони заготовки

Кнопка «Виконати заміри деталі» дозволяє відкрити вікно редактора вимірювань розмірів поздовжнього перерізу заготовки (рис. 12).

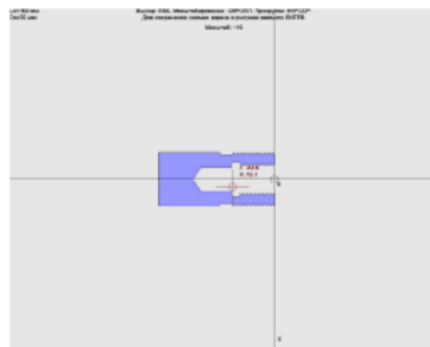


Рис. 12. Редактор вимірювань розмірів перетину заготовки

У редакторі вимірювань розмірів перетину представлена система координат X Z та поздовжній перетин обробленої деталі. Вид системи можна прокручувати за допомогою клавіш курсора і масштабувати обертанням колеса миші. Курсор миші представлений перехрестям з відмітками поточних координат. Вимірювання здійснюються виміром координат двох точок у напрямку осей. Точність вимірювань відповідає точності різання – 0,5 мм. При натисканні на клавішу ENTER проводиться захоплення зображення екрана і відкривається діалогове вікно збереження рисунку у форматі *.jpg. Вихід з редактора вимірювань відбувається при натисканні на клавішу ESC.

Кнопка «Виконати розвантаження готової деталі» запускає автоматичний цикл роботи промислового робота, після завершення якого оброблена деталь вивантажується в тару для деталей і робочий цикл симулятора закінчується.

Кнопка «Виконати переверот заготовки» запускає автоматичний цикл роботи промислового робота, яка полягає у вийманні заготовки з патрона, її ротації на 180° та встановлення в патрон. Під час виконання циклу поточна КП закривається з можливістю збереження змін.

У разі завершення КП, після виконаного переустановлення заготовки, на екрані відображається вікно вибору дії (рис. 13), але без кнопки «Виконати переверот заготовки».

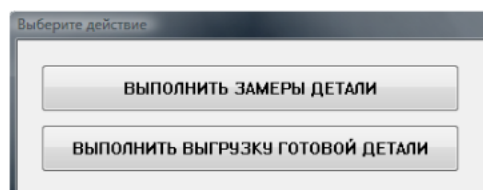


Рис. 13. Вікно вибору дії після обробки другої сторони заготовки

Приклад використання навчального симулятора роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з ЧПК представлено на рис. 14.

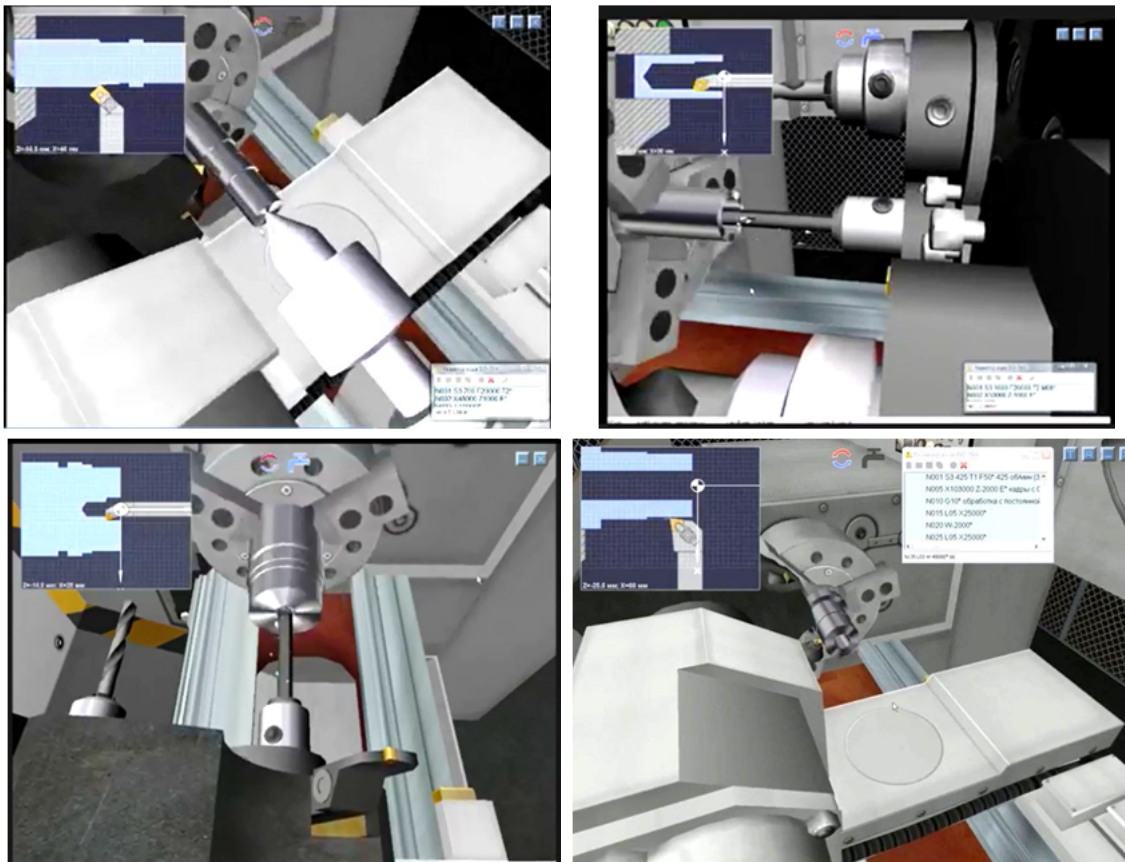


Рис. 14. Приклади оброблення різних деталей різноманітними інструментами

Висновки і пропозиції. Запропонований навчальний симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з ЧПК дозволяє зробити процес навчання більш яскравим, наочним та дешевшим. Проте запропонований програмний продукт має деякі обмеження: обмежена (на відміну від систем автоматизованого проектування) точність імітації різання і вимірювань – 0,5 мм, відсутня можливість точіння галтелей та дуг, відсутня можливість програмування циклів L07, L08, L09, L10. Бажано в наступних версіях ці проблеми усунути.

Список використаних джерел

1. Використання ЄОМ в навчальному процесі / Г. В. Пасов, К. В. Дьяконов, Р. С. Кит, О. В. Хажанець, С. А. Шурубенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2007. – № 30. – С. 45–54.
2. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання роботи окремих вузлів промислового робота / Г. В. Пасов, О. В. Ратозей, С. В. Лоскутов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2008. – № 36. – С. 82–87.
3. Пасов Г. В. Керування анімаційною 3D-моделлю промислового робота M10П / Г. В. Пасов, В. М. Чуприна, С. Ю. Кириєнко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2009. – № 40. – С. 156–164.
4. Анімаційне моделювання гнучкої виробничої системи / С. Ю. Кириєнко, А. В. Полуян, Г. В. Пасов, В. М. Чуприна // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2010. – № 45. – С. 78–86.
5. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання лабораторії промислових роботів / Г. В. Пасов, Є. В. Загуменник // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2012. – № 2 (57). – С. 148–154.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

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

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

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

9. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання кульково-гвинтових передач, які використовуються для створення прямолінійного поступального руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 1 (77). – С. 19–25.

10. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання механізмів для створення реверсивного, обертового руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега, А. В. Рудик // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 1 (3). – С. 60–65.

11. Програмні продукти [Електронний ресурс] // Офіційний сайт SunSpire Art group. – Режим доступу : <http://www.sunspire.ru/products/cnc-simulator/>.

References

1. Pasov, H.V., Diakonov, K.V., Kyt, R.S., Khazhanets, O.V. & Shurubenko, S.A. (2007). Vykorystannia YeOM v navchalnomu protsesi [The use of IBM in educational process]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. Technical sciences*, no. 30, pp. 45–54 (in Ukrainian).

2. Pasov, H.V., Ratozei, O.V. & Loskutov, S.V. (2008). Animatsiine modeliuвання roboty okremykh vuzliv promyslovoho robota [Animation design work of separate knots of industrial robot]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. Technical sciences*, no. 36, pp. 82–87 (in Ukrainian).

3. Pasov, H.V., Chupryna, V.M. & Kyriienko, S.Iu. (2009). Keruvannia animatsiinoiu 3D-modelliu promyslovoho robota M10P [Management of industrial robot M10P an animation 3D-model]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. Technical sciences*, no. 40, pp. 156–164 (in Ukrainian).

4. Kyriienko, S.Yu., Poluian, A.V., Pasov, H.V. & Chupryna, V.M. (2010). Animatsiine modeliuвання hnuchkoi vyrobnychoi systemy [Animated simulations of a flexible manufacturing system]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. Technical sciences*, no. 45, pp. 78–86 (in Ukrainian).

5. Pasov, H.V. & Zahumennyk, Ye.V. (2012). Animatsiine modeliuвання laboratorii promyslovykh robotiv [The animated laboratory design of industrial robots]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. Technical sciences*, no. 2 (57), pp. 148–154 (in Ukrainian).

6. Pasov, H.V. (2012). Vykorystannia animatsiinoho modeliuвання laboratorii promyslovykh robotiv v uchbovomu protsesi [Using animated simulation of industrial robots in the lab learning process]. Proceeding from *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system: zb. nauk. prats II Mizhnarodnoi konferentsii – Comprehensive quality assurance processes and systems: Materials of 2 International Conference* (Chernihiv, May 23–25, 2012). Chernihiv: CnSTU, pp. 31–32 (in Ukrainian).

7. Pasov, H.V. (2013). Vykorystannia animatsiinoho modeliuвання mekhanizmiv dlia stvorennia priamoliniinoho postupalnoho rukhu [Using animated simulation of mechanisms to create a straight forward motion]. Proceeding from *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system: zb. nauk. prats III Mizhnarodnoi konferentsii – Comprehensive quality assurance processes*

and systems: *Materials of 3 International Conference* (Chernihiv, May 14-16, 2013). Chernihiv: CnSTU, pp. 60–61 (in Ukrainian).

8. Pasov, H.V. & Venzheha V.I. (2014). Vykorystannia animatsiinoho modeliuvannia mekhanizmiv dlia stvorennia priamoliniinoho postupalnoho rukhu za dopomohoi kulachkovykh mekhanizmiv [Using animated simulation of mechanisms to create a rectilinear translational motion via cam]. Proceeding from *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system: zb. nauk. prats IV Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii – Comprehensive quality assurance processes and systems: Materials of 4 th International Scientific Conference* (Chernihiv, May 19-21, 2014). Chernihiv: CnNTU, pp. 81–84 (in Ukrainian).

9. Pasov, H.V. & Venzheha V.I. (2015). Animatsiine modeliuvannia kulkovo-hvyntovykh peredach, yaki vykorystovuiutsia dlia stvorennia priamoliniinoho postupalnoho rukhu [Animation simulation ball screw is used to create rectilinear translational motion]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. Technical sciences*, no. 1 (77), pp. 19–25 (in Ukrainian).

10. Pasov, H.V., Venzheha V.I. & Rudyk, A.V. (2016). Animatsiine modeliuvannia mekhanizmiv dlia stvorennia reversyvnogo, obertalnoho rukhu [Animation simulation of reverse mechanism for creating rotary motion]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and Technology*, no. 1 (3), pp. 60–65 (in Ukrainian).

11. *Prohramni produkty [Software]*. Ofitsiyni sait SunSpire Art group [Site of SunSpire Art group]. www.sunspire.ru. Retrieved from <http://www.sunspire.ru/products/cnc-simulator/>.

Пасов Геннадій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Пасов Геннадій Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Pasov Hennadii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: genapasov@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

ResearcherID: H-4455-2014

Венжега Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Вежега Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Volodymyr Venzheha – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of road transport industry and mechanical engineering department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: venzhegavi@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

ResearcherID: H-3560-2014

Рудик Андрій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Рудик Андрей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Rudyk Andrii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of road transport industry and mechanical engineering department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: andrei.rudik@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3582-9279>

ResearcherID: H-7173-2014

Руслан Пугач

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНОГО ПРОТИВОИЗНОСНОГО
АНТИФРИКЦИОННОГО РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТАВА**

Руслан Пугач

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ У РЕЗУЛЬТАТІ
ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛЬНОГО ПРОТИЗНОШУВАЛЬНОГО
АНТИФРИКЦІЙНОГО РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО СКЛАДУ**

Ruslan Puhach

**IMPROVING THE QUALITY OF STEEL PRODUCTS SURFACE AS A RESULT
OF ANTI-WEAR ANTI-FRICTION LUBRICANT REPAIR AND RESTORATIVE
COMPOSITION**

Рассмотрен механизм формирования реновационной поверхности при использовании геомодификаторов трения на основе серпентинитов. Приведены результаты испытаний, которые подтверждают эффективность использования природных добавок, обеспечивающих компенсацию размерного износа элементов машин.

Ключевые слова: геомодификатор трения, диспергирование, шероховатость, реновация, износ, модифицирование.

Рис.: 4. Табл.: 1. Библ.: 8.

Розглянуто механізм формування реноваційної поверхні у разі використання геомодифікаторів тертя на основі серпентинітів. Наведено результати випробувань, які підтверджують ефективність використання природних добавок, що забезпечують компенсацію розмірного зносу елементів машин.

Ключові слова: геомодифікатор тертя, диспергування, шорсткість, реновація, знос, модифікування.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 8.

The mechanism of formation renovating surface using geomodifiers friction on the basis of serpentinite. Test results have confirmed the effectiveness of the use of natural supplements that provide compensation of dimensional wear of machine elements.

Key words: geomodifiers friction, dispersion, surface roughness, renovation, wear, modification.

Fig.: 4. Tabl.: 1. Bibl.: 8.

Постановка проблемы. Перед современным производством стоит задача снижения стоимости ремонтных работ и эксплуатации изделий с учетом обеспечения максимальной безопасности. Развитие технологий улучшения поверхностей связано с явлениями, протекающих в зоне контакта деталей, с учетом прочностных характеристик поверхностей и их разрушения. Известно, что путем улучшения качества поверхностей трения можно значительно повысить ресурс механизма. Таким образом, задача трения, смазки и износа выступает на первый план.

Основным направлением по улучшению качества изделий и механизмов является создание безизносного узла трения. Данную задачу можно решать созданием новых смазочных материалов. При эксплуатации машин и механизмов происходят значительные химические и физические изменения масел, т. е. изменения их состава и свойств, что влияет на эксплуатационные свойства масел. Для предотвращения подобных изменений в большинство смазочных масел вводят специальные вещества и их композиции.

Анализ последних исследований и публикаций. Рассмотрим процесс образования модифицированного слоя на поверхностях пар трения. За счет высоких абразивных свойств геомодификатора трения (ГМТ) в местах контакта происходит шлифование абразивом поверхностей трения от нагаров, окислов, микронеровностей. В местах локального контакта на микроуровне возникают высокие температуры (превышающие 400 °С), что приводит к инициации микрометаллургических процессов: микросхватывания и микросваривания. В результате происходит заклёпывание частиц ремонтно-восстановительного состава (РВС) к кристаллической решетке поверхностного слоя стали. Так как реагенты составов работают как катализаторы, то создаются условия для

активного протекания окислительно-восстановительных процессов, вследствие чего происходит образование модифицированного слоя. Одновременно в пограничной области происходит образование новых кристаллов, наращенных на кристаллической решетке металла [1; 2; 3]. В дальнейшем эти кристаллы ориентируются вдоль поля и срастаются, образуя на всей поверхности контакта непрерывный ряд твердых растворов и монокристаллов.

Механизм начала модификации поверхностей объясняется явлением изоморфизма, т. е. замещение элементами друг друга в соединениях родственного состава (например, изовалентный изоморфизм иона Mg^{2+} к двухвалентному иону Fe^{2+}). При этом возможен переход ионов магния из разрушенной структуры серпентинов в железо поверхностей трибопары, что может служить дополнительным подтверждением активности РВС [4].

Все указанные процессы на самом деле протекают практически одновременно и имеют место до тех пор, пока в носителе не иссякнет РВС, или пока в системе не наступит равновесие: все зазоры будут выбраны до оптимальной величины, определяемой термодинамическими процессами, протекающими в каждой точке локального контакта данной системы.

Нерешенные части проблемы. В зоне контактирующих поверхностей может реализоваться механическое измельчение частиц ГМТ до момента оптимального взаимодействия с ними без нарушения поверхностей контакта после их приработки. Физическое объяснение этого явления требует экспериментального подтверждения влияния активированных частичек ГМТ на модификацию поверхностей.

Цель и постановка задачи. Исследовать модифицирование поверхностей деталей за счёт применения геомодификатора трения в качестве добавки, полученной на основе тонкодисперсных серпентинитов, к смазочным материалам.

Изложение основного материала. В статье рассматривается сравнение в процессе лабораторных трибологических испытаний эффективности добавок 4÷6 % содержания геомодификатора трения в составе масла Литол 24 ГОСТ 21150-87, а также оценка эффективности применения этой смеси в процессе стендовых испытаний.

Состав ГМТ представляет собой природный измельченный минерал с дисперсностью 0,01÷30 мкм при следующем соотношении компонентов, в %: серпентин (лизардит или хризотил) $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ 87÷90; амфотерный оксид железа Fe_2O_3 2÷3; оксида алюминия Al_2O_3 2÷8, доломит $CaMg(CO_3)_2$ 3÷5.

Важным есть измельчение природных минералов, используемых для технологического процесса подготовки комплексного состава ГМТ, естественно, чем меньших размеров будут наши частички ГМТ, тем значительно ускорится процесс диспергирования и активации частиц в сопряжении, которые позволяют проводить процессы диффузии при менее высоких температурах, нагрузках и, естественно, во времени.

Исследования на износостойкость проводилось на машине трения СМЦ-2 по схеме «диск-колодка». Нагрузка образцов обеспечивалась штатным нагрузочным устройством 150 кг/см². Частота вращения подвижного ролика составляет 500 об/мин. На протяжении 100 часов испытания производился замер изношенной массы детали через каждые 5 часов. На рис. 1 представлен график износа образцов из стали 40Х. Как видно из рис. 1, в испытуемом образце, где добавлен в зону трения ГМТ, первые 25 часов происходит интенсивный износ, что связано с микрошлифованием поверхности детали и ее выравниванием, отрицательные значения на графике свидетельствуют о восстановлении изношенной поверхности элементами ГМТ [5; 6], что приведёт к снижению вибрации за счет уменьшения зазоров между сопряженными деталями, а также снижается трение и износ, увеличивается опорная площадь ресурсопределяющих элементов механизма.

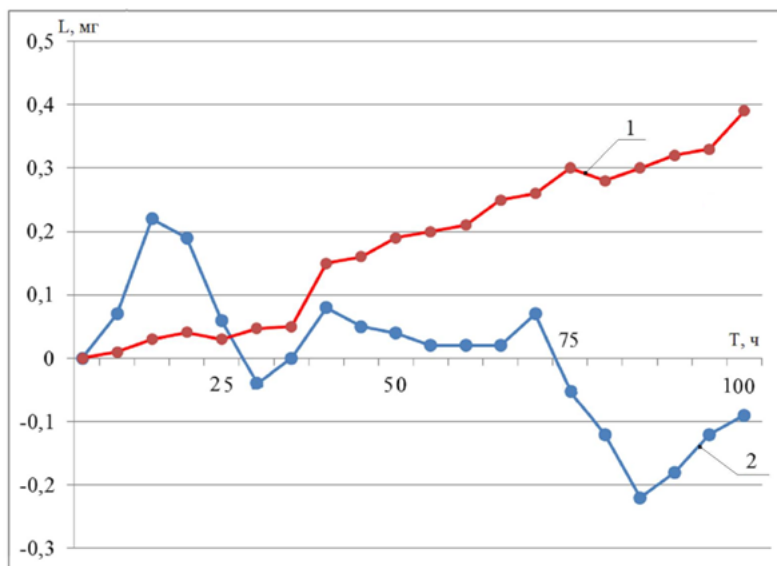


Рис. 1. Экспериментальный график износа стали: 1 – использование смазки Литол 24; 2 – использование смазки Литол 24 с добавлением в зону трения 5 % ГМТ

Определение элементного состава, приповерхностных слоев поверхности трения скольжения проводилось вторично-ионной оже-спектрометрией на установке РНІ -660. Оже-спектрометры исследуемых образцов в приповерхностной области 40 \AA^0 представлены на рис. 2. Из рис. 2, а видно, что в стали имеется карбид железа и хрома, а на поверхности в основном окисленное железо. Что касается рис. 2, б, то дополнительно регистрируются пики Mg, Si, Ca, Cr и С. Очевидно, компоненты ГМТ диффундируют в поверхностные слои металла и образуют новый слой, представляющий собой растворы компонентов ГМТ в фазовых составляющих стали.

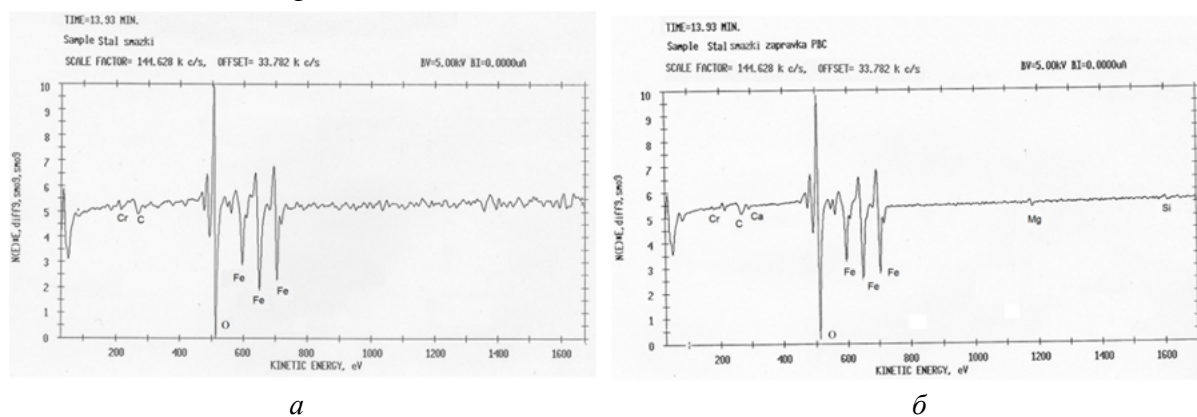


Рис. 2. Оже-спектрометрии приповерхностных слоев стали 40Х: а – использование смазки Литол 24; б – использование смазки Литол 24 с добавлением в зону трения 5 % ГМТ

На рис. 3 представлен поперечный шлиф стали с формированием на поверхности реновационного слоя, содержащего в своем составе элементы ГМТ. Глубина проникновения достигает 30–50 мкм. Скорость формирования слоя пропорциональна локальным всплескам температуры и давлению на пятнах фактического контакта. Формируется этот слой в первую очередь на изношенных участках сопряженных поверхностей, в результате чего происходит восстановление размеров и формы деталей.

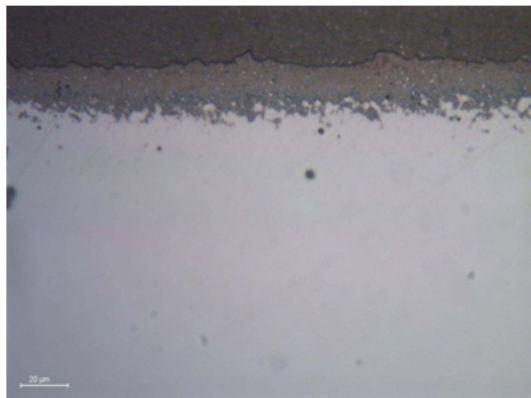
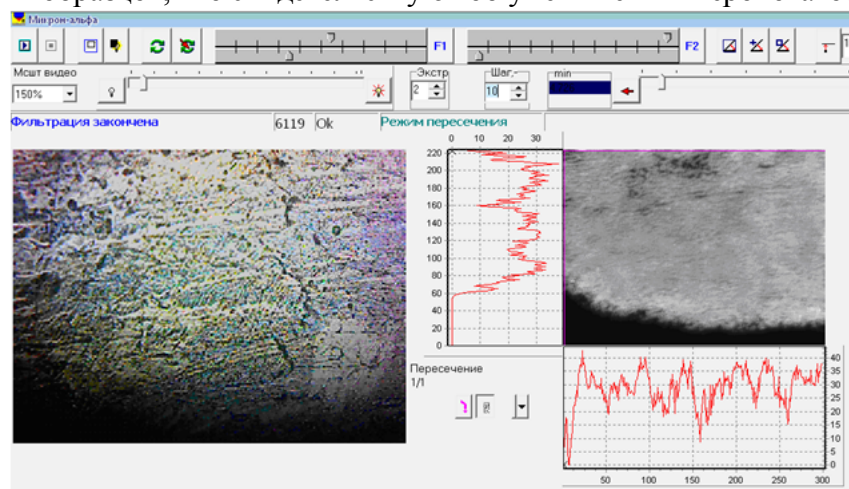
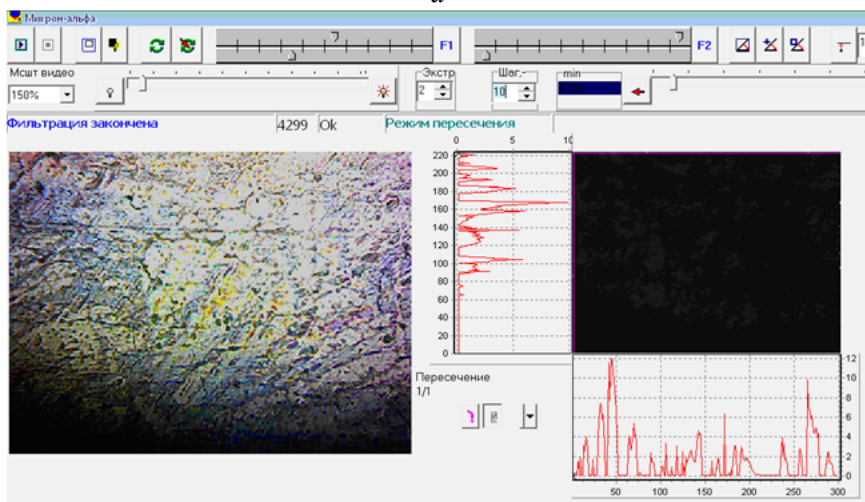


Рис. 3. Структура реновационного слоя с антифрикционным покрытием

Измерение микропрофиля поверхности выполнялось на профилометре «Micro-alpha» и представлено на рис. 4. Шероховатость поверхности по всем исследуемым параметрам претерпевает положительных изменений, происходит выравнивание поверхности, уменьшается количество критических выступов и впадин неровности поверхности, все это способствует увеличению площади контакта между трущимися деталями. В таблице приведены среднестатистические данные по измерению шероховатости поверхности испытуемых образцов, что свидетельствуют об уменьшении шероховатости в 2 раза.



а



б

Рис. 4. Профилограммы поверхности стали после 100 часов приработки: а – использование смазки Литол 24; б – использование смазки Литол 24 с добавлением в зону трения 5% ГМТ

Таблица

Среднестатистические данные по измерению шероховатости поверхности

Показатели	Смазка Литол 24, мкм	Смазка Литол 24 с добавлением в зону трения 5 % ГМТ, мкм
Rz	6,51	2,908
Ra	8,05	3,938
R	0,097	1,026
H	16,2	6,128

Крупные включения частиц ГМТ могут образовывать когерентные и некогерентные фазовые границы с материалами поверхностей пар трения в зависимости от меры различия фаз по структуре и постоянным кристаллической решетки. При этом когерентные фазы либо усиливают, либо ослабляют фазовые границы частиц геомодификаторов с поверхностями трибосопряжения. В такой системе обнаруживаются отдельные элементы самоорганизации, формирование равномерной шероховатости поверхности трения с диспергируемыми и активируемыми компонентами ГМТ, ускоряющими достижение установившейся микрогеометрии поверхности, воспроизводимой в процессе трения.

Один из основных компонентом ГМТ MgO в процессе механохимического взаимодействия вызывает развитие самоподдерживающейся реакции за счет экзотермического эффекта. Высокие температуры в зоне трибоконтакта развиваются за счет теплоты химической реакции на поверхности металлов пар трения и новых поверхностях диспергированных частичками ГМТ.

В случае аморфизации SiO₂, как реагента смеси ГМ, наблюдается небольшой максимум и последующее уменьшение степени аморфизации в процессе диспергирования в трибоконтакте. Наличие аморфной фазы кремния α-Si в зоне подвижного контакта и переведенной импульсными трибоисточниками в активное структурно-неустойчивое состояние аморфно-кристаллической α-к-границы раздела является кристаллизация α-Si с образованием износостойкого слоя поликристаллического к-Si на поверхностях трибосопряжения в диапазоне температур, возникающих на пятнах фактического контакта [7].

В процессе диспергирования частиц наполнителя смазки повышается и устойчивость в диапазоне аморфизации основных компонентов геомодификаторов трения. Аморфизированная часть SiO₂ расходуется на формирование реновационного слоя, который проявляет себя как антифрикционный слой. Al₂O₃ в составе смазочной композиции приводит к выводу о дезактивации наночастиц, которые в приработанных трибосопряжениях выполняют функцию нанокерамической смазки. Аморфизированная часть Al₂O₃, по предположению, выступает в качестве катализатора трибохимических реакций в трибосопряжении. Частицы наноразмеров Fe₂O₃ выступают в роли микро- и нанокерамических безактивационных компонентов смазки. В случае избыточности компоненты Fe₂O₃ образуют интерметаллидные соединения с продуктами разделения диспергируемых частиц Al₂O₃. Несмотря на аддитивный вклад каждой из составляющей диспергированной смеси порошков в подвижном сопряжении, превалирующее влияние на формирование силицидных реновационных слоев оказывает α-Si. При этом реакционно-активная фаза α-Si образует слои вторичных структур на поверхностях сопряжения пары трения, снижая свою концентрацию в смазочном слое. Реакции SiO₂ с твердыми веществами Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO и CaO при возрастании температуры в зоне трения, создают условия для формирования реновационных слоев в восстановительной технологии размерного износа поверхностей сопряжения [8]. Это снижает вибрацию за счет уменьшения зазоров между сопряженными деталями, а также снижает работу трения и износ ресурсопределяющих элементов механизма.

Вывод. Эффект применения геомодификаторов трения заключается в значительном, более чем двукратном снижении коэффициента трения. Важным результатом есть малый либо практически отсутствующий износ деталей узла трения с одновременным

упрочнением поверхностей трения. Одновременно «залечиваются» дефекты и другие нарушения поверхностей, что приводит к формированию более совершенной, близкой к идеальной кристаллической структуры поверхностных зон узлов трения и, соответственно, продлению их ресурса. Процесс приработки протекает в более благоприятных условиях и завершается значительно раньше по сравнению с чистым эксплуатационным маслом, т. е. геомодификатор трения, входящий в состав РВС, позволяют форсировать процесс приработки деталей и получить повышенные физико-механические свойства поверхностей трения.

Список используемых источников

1. Дунаев А. В. Состояние применения нетрадиционной триботехники для безремонтного восстановления сопряжений трения узлов и агрегатов машин и оборудования / А. В. Дунаев // Сборник научных трудов. Семинар «Современные технологии в горном машиностроении». – М. : МГГУ, 2012. – С. 154–163.
2. Миняев Ю. Н. Трибохимическая технология восстановления изношенных узлов стационарных поршневых компрессоров / Ю. Н. Миняев, Н. П. Ткач, В. В. Молодцов // Горный информационно-аналитический бюллетень : научно-технический журнал. – 2009. – № 12, т. 16. – С. 357–362.
3. Соловйов С. М. Повышение несущей способности тяжело нагруженных пар трения / С. М. Соловйов, С. Ж. Боду // Наукові праці. Техногенна безпека. – 2012. – Вип. 191, т. 203. – С. 27–31.
4. Телух Д. М. Введение в проблему использования природных слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях / Д. М. Телух, В. П. Кузьмин, В. В. Усачев // Трение, износ, смазка. – 2009. – № 3.
5. Didyk R. P. New technology of modifying a machine element surface in an attempt to overcome the tribological barrier / R. P. Didyk, R. S. Puhach, V. A. Kozechko // State Higher Educational Institution «National Mining University». – Д. : НГУ, 2015. – № 5 (149). – С. 59–63.
6. Didyk R. P. Technology of Modifying a Machine Element / R. P. Didyk, R. S. Puhach // Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. – Sankt Lorenzen, Austria, March 2016. – Vol. 3. – Pp. 14–18.
7. Ткаченко Э. А. Самоорганизация механической активации и механо-химических твердофазных реакций геомодификаторов трения в подвижных сопряжениях / Э. А. Ткаченко // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2014. – Вип. 2 (48). – С. 137–146.
8. Ткаченко Э. А. Нанотехнология компенсации размерного износа подвижных сопряжений элементов машин / Э. А. Ткаченко, Д. А. Кононов // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2012. – Вип. 1, 2 (44). – С. 255–263.

References

1. Dunaev, A.V. (2012). Sostoiianie primeneniia netraditsionnoi tribotekhniki dlia bezremontnogo vosstanovleniia sopriazhenii treniia uzlov i agregatov mashin i oborudovaniia [Status of application of nonconventional tribotechnology for recovery of maintenance-free components and interfaces of the friction units of machines and equipment]. *Sbornik nauchnykh trudov. Seminar "Sovremennye tekhnologii v gornom mashinostroenii"*. Moscow: MGGU, pp. 154–163 (in Russian).
2. Miniaev, Iu.N., Tkach, N.P., Molodtsov, V.V. (2009). Tribokhimicheskaiia tekhnologiia vosstanovleniia iznoshennykh uzlov statsionarnykh porshnevykh kompressorov [Tribo Chemical Technology of restoration of worn components of stationary reciprocating compressors]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten – Mining informational and analytical bulletin*, no. 12, vol. 16, pp. 357–362 (in Russian).
3. Solovyov, S.M., Bodu, S.Zh. (2012). Povyshenie nesushchei sposobnosti tiazhelonagruzhennykh par treniia [Increasing the bearing capacity of highly loaded friction pairs]. *Naukovi pratsi. Tekhnohenna bezpeka – Proceedings. Technogenic security*, issue 191, vol. 203, pp. 27–31 (in Russian).
4. Telukh, D.M., Kuzmin, V.P., Usachev, V.V. (2009). Vvedenie v problemu ispolzovaniia prirodnykh sloistykh gidrosilikatov v tribosopriazheniiax [Introduction to the problem of natural

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

layered Hydrosilicates in friction units]. *Trenie, iznos, smazka – Friction, wear, lubrication*, no. 3 (in Russian).

5. Didyk, R.P., Puhach, R.S., Kozechko, V.A. (2015). New technology of modifying a machine element surface in an attempt to overcome the tribological barrier. *State Higher Educational Institution “National Mining University”*, № 5 (149), pp. 59–63.

6. Didyk R.P., Puhach, R.S. (2016). Technology of Modifying a Machine Element. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*. Sankt Lorenzen, Austria, March, vol. 3, pp. 14–18.

7. Tkachenko, E.A. (2014). Samoorganizatsiia mekhanicheskoi aktivatsii i mekhanokhimicheskikh tverdogaznykh reaktsiy geomodifikatorov treniia v podvizhnykh sopriazheniakh [Self-organization of mechanical activation and mechanochemical solid-state reactions geomodifiers friction in mobile interfaces]. *Progresivni tekhnologii i sistemy mashinobuduvannia – Progressive technologies and systems engineering*, issue 2 (48), pp. 137–146 (in Russian).

8. Tkachenko, E.A., Kononov, D.A. (2012). Nanotekhnologiya kompensatsii razmernogo iznosa podvizhnykh sopriazhenii elementov mashin [Nanotechnology compensation of dimensional wear movable joints of machine elements]. *Progresivni tekhnologii i sistemy mashinobuduvannia – Progressive technologies and systems engineering*, issue 1, 2 (44), pp. 255–263 (in Russian).

Пугач Руслан Сергеевич – ассистент кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (просп. Д. Яворницкого, 19, г. Днепр, 49005, Украина).

Пугач Руслан Сергійович – асистент кафедри технології гірничого машинобудування, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (просп. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна).

Puhach Ruslan – assistant Department of Mechanical Engineering Technology for Mining, State Higher Educational Institution “National Mining University” (19 Dmytro Yavornytskyi Av., 49005 Dnipro, Ukraine).

E-mail: dracov-pugach@yandex.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2502-7966>

РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 691.328.1

Геннадій Болотов, Максим Болотов, Тімур Ганєєв, Микола Корзаченко

ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АРМАТУРИ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Геннадий Болотов, Максим Болотов, Тимур Ганеев, Николай Корзаченко

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Gennady Bolotov, Maksym Bolotov, Timur Hanieiev, Mykola Korzachenko

EVALUATION OF THE CARRYING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE WELDED ARMATURE JOINTS

У роботі наведено результати досліджень міцнісних характеристик зварних з'єднань арматури залізобетону, виконаних контактним стиковим зварюванням опором та оплавленням і механізованим дуговим зварюванням у середовищі захисних газів. Встановлено, що застосування м'яких режимів під час зварювання оплавленням із попереднім підігрівом забезпечує отримання рівномірних з'єднань із межею витривалості на рівні 639...685 МПа, на відміну від швів, виконаних електродуговим зварюванням, межа міцності яких у наших дослідгах не перевищувала 516...578 МПа, що обумовлено значною гетерогенністю структури металу зварного шва та ЗТВ.

Ключові слова: арматура, залізобетон, контактне стикове зварювання, механізоване зварювання, характеристики міцності.

Рис.: 9. Табл.: 6. Бібл.: 7.

В работе приведены результаты исследований прочностных характеристик сварных соединений арматуры железобетона, выполненных контактной стыковой сваркой сопротивлением и оплавлением и механизированной дуговой сваркой в среде защитных газов. Установлено, что применение мягких режимов при сварке оплавлением с предварительным подогревом обеспечивает получение равнопрочных соединений с границей выносливости на уровне 639...685 МПа, в отличие от швов, выполненных электродуговой сваркой, предел прочности которых в наших опытах не превышала 516...578 МПа, что обусловлено значительной гетерогенностью структуры металла сварного шва и ЗТВ.

Ключевые слова: арматура, железобетон, контактная стыковая сварка, механизированная сварка, характеристики прочности.

Рис.: 9. Табл.: 6. Библ.: 7.

The results of the studies of the strength characteristics of reinforced concrete welded armature joints made by flash-butt welding and arc welding in shielding gases are shown in the paper. It is established that the use of "soft" modes of preheated flash-butt welding provides the receipt of equally-strength with the limit of joints endurance at 639...685 MPa, unlike the arc welded joints, the tensile strength of which didn't exceed 516...578 MPa, due to the considerable heterogeneity of metal structure and HAZ of the joints.

Key words: armature, reinforced concrete, flash-butt welding, arc welding, the characteristics of strength.

Fig.: 9. Tabl.: 6. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Сучасні методи виробництва будівельних конструкцій різного призначення тісно пов'язані із використанням монолітно-каркасних систем, роль яких у будівництві все більше зростає із підвищенням вимог до експлуатаційної якості, надійності, швидкості зведення та економії матеріальних і трудових ресурсів.

Основним етапом технологічного процесу при зведенні будівель та споруд зі збірних або збірно-монолітних залізобетонних конструкцій (ЗБК) є улаштування арматурної сітки, суттєвий обсяг виконуваних робіт у процесі виробництва якої припадає саме на зварювальні операції. Це, насамперед, обумовлено високою якістю зварних з'єднань у порівнянні з так званими беззварювальними способами із застосуванням поєднувальних муфт типу "Lenton", або внапустку з перев'язуванням.

При зведенні будівель і споруд за монолітно-каркасною технологією для з'єднання арматурних стержнів та закладних елементів між собою найбільш широкого застосування набули дугові процеси зварювання плавленням із використанням ручного дугового, механізованого та ванно-дугового зварювання [1]. Слід зазначити, що у стаціонар-

них умовах, крім згаданих способів, для нарощування армованого каркаса широке застосування набуло контактне стикове зварювання з безперервним оплавленням опором та оплавленням з підігрівом. Тривалий термін використання контактного зварювання у виробничих умовах будівництва дозволив виділити певні його переваги, обумовлені, передусім, стабільною якістю зварних з'єднань (практично рівномірним з основним металом), процес легко автоматизується, не потребує додаткового витратного матеріалу, крім цього, не потребує зварювальників з високою кваліфікацією [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження працездатності зварних з'єднань арматурних стержнів, виконані різними науковцями, дозволили визначити основні вимоги до умов зварювання, головним чином пов'язані з рівномірністю нагрівання та охолодження, малим часом ізотермічної витримки металу в області високих температур та, що найважливіше, здатністю металу сприймати зварювальне тепло з утворенням якісного зварного з'єднання. Тобто потрібно сказати, що арматурний прокат, який використовується в будівництві залізобетонних конструкцій, повинен володіти не тільки високими фізико-механічними показниками, а і задовільною зварюваністю.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Слід пам'ятати, що якість та надійність будівельних конструкцій визначається не лише якістю вихідних матеріалів, а й значною мірою культурою будівельно-монтажних робіт, у тому числі під час виконання зварювальних операцій. Саме з останнім пов'язана поява значної частини дефектів, що впливатимуть на міцнісні показники як окремих елементів конструкції, так і несучої здатності будівлі загалом [3]. Ця проблема є багатогранною і вирішується одночасно в декількох напрямках. Серед них відповідальна роль належить дослідженню механічних властивостей зварних з'єднань арматури із застосуванням руйнівних методів контролю якості.

Мета статті. У зв'язку з цим мета цієї роботи полягає в оцінюванні несучої здатності зварних з'єднань арматурних стержнів залізобетону шляхом їх механічних випробувань на розрив.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для потреб індивідуального будівництва найбільш широкого застосування набула арматура класів А-III та А-IVв гарячекатаному або термозміцненому стані діаметром 8...16 мм, виготовлених із сталей 35ГС, 25Г2С, Ст3Гпс та Ст5сп (пс).

Оцінку механічних властивостей зварних з'єднань арматурних стержнів здійснювали на зразках діаметром 8...14 мм. Завдання ускладнювалось тим, що відібрана нами партія дослідних зразків не мала ані сертифікату, ані жодного маркування, тобто без будь-якого кольорового індикатора на торцях стержнів, що вказувало б на належність арматури до того чи іншого класу міцності. У зв'язку з цим перш ніж приступити до досліджень процесів зварювання арматурних стержнів, доцільним є встановлення відповідності відібраних зразків певному класу міцності.

Оскільки основним нормованим показником якості сталевих арматур є клас арматури по міцності на розтяг, тому з метою визначення класу відповідності всі відібрані арматурні стержні піддавалися механічним випробуванням на розрив. Механічні дослідження здійснювали відповідно до ГОСТ 12004-81. Випробування проводили на партіях зразків діаметром 8, 10, 12 та 14 мм на розривній машині МР-200 (із максимальним навантаженням 200 кН). З кожної партії відбиралося по три зразки. Довжина стержнів для механічних досліджень становила 200 мм, оскільки номінальний діаметр випробуваної арматури не перевищує 20 мм [4].

Загальний вигляд зразків після випробування на розтяг наведено на рис. 1. Результати механічних випробувань зразків арматурної сталі наведено в табл. 1.

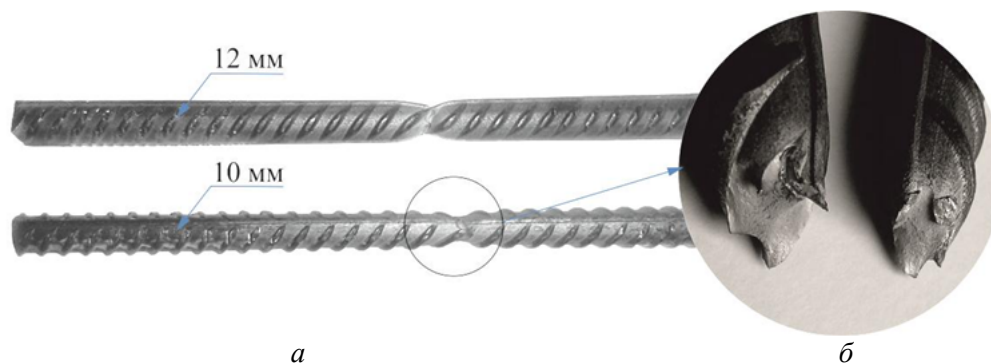


Рис. 1. Зразки арматурних стержнів діаметром 10 і 12 мм (а) та їх злам (б) після механічних випробувань на розтяг

Таблиця 1

Результати механічних випробувань зразків арматури

Номер профілю (номінальний діаметр зразків), мм	Площа поперечного перерізу, мм ²	Тимчасовий опір розриву, Н/мм ²	Межа текучості, Н/мм ²	Відносне подовження при розриві, %
8	50,3	577	391	14
		561	384	14
		582	401	13
10	78,5	590	409	11
		574	388	9
		597	412	12
12	113,1	568	372	13
		554	360	11
		560	368	9
14	153,9	572	367	9
		576	390	11
		581	400	12

Отримані у процесі механічних випробувань результати дають нам підставу вважати, що зразки досліджуваної арматури відносяться до класу міцності А-III (А400, А400С), про що свідчать отримані значення межі текучості, що в наших дослідях коливалися в межах 374...412 Н/мм², та відносне подовження, що не перевищує 14 %.

Відповідно до ГОСТ 5781-82 арматуру А400, А400С виготовляють із середньовуглецевих низьколегованих сталей 35ГС, 25Г2С, 32Г2Рпс або низьковуглецевої сталі ВСт3Гпс. Хімічний склад цих сталей наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Хімічний склад арматурних сталей

Марка арматурної сталі	С, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	S, %	P, %	Cu, %
35ГС	0,30...0,37	0,80...1,20	0,60...0,90	<0,30	<0,30	<0,045	<0,040	<0,30
25Г2С	0,20...0,29	1,20...1,60	0,60...0,90	<0,30	<0,30	<0,045	<0,040	<0,30
32Г2Рпс	0,28...0,37	1,3...1,75	<0,17	<0,30	<0,30	<0,05	<0,045	<0,30
ВСт3Гпс	0,14...0,22	0,80...1,10	<0,15	<0,30	<0,30	<0,05	<0,040	<0,30

Для цих сталей було розраховано вуглецевий еквівалент (C_e), як показник, що характеризує здатність металів до зварювання з утворенням якісного нероз'ємного з'єднання. Згідно з [5] вуглецевий еквівалент для арматурних стержнів класу А-III, виготовлених з низьколегованої сталі, що підлягають зварюванню, повинен знаходитись в межах 0,52...0,62.

Під час розрахунку користувалися формулою, яка найбільше підходить саме для низьколегованих сталей, що дозволяє з достатньою точністю виявляти схильність їх до утворення кристалізаційних тріщин:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + V + Mo)}{5} + \frac{(Cu + Ni)}{15}. \quad (1)$$

Проведений розрахунок показав, що досліджувані леговані арматурні сталі відносяться до категорії, що важко зварюються зі схильністю до утворення холодних та гарячих тріщин. Значення C_e таких сталей коливається в межах 0,55...0,58. Найбільш оптимальним щодо обраного критерію є низьковуглецева сталь, величина C_e якої становить 0,34, що відповідає категорії сталей із задовільною зварюваністю. Таким чином, технологічні дослідження процесів зварювання арматури повинні проводитися з урахуванням фізико-хімічних особливостей її матеріалу.

Вибір раціонального способу зварювання при конструюванні зварних з'єднань арматури і закладних деталей повинен відбуватись з урахування конструктивно-геометричних параметрів майбутніх швів. Так, під час зварювання арматури залізобетону залежно від положення стержнів у просторі найбільш поширеними типами зварних з'єднань є стикові, стикові із парними накладками, напусткові та хрестоподібні.

Зварювання стикових з'єднань здійснювали за допомогою контактної стикового зварювання опором та оплавленням з підігрівом. Стикові з накладками та напусткові з'єднання арматурних сталей доцільно виконувати із застосуванням електродугового зварювання [6]. Вибір оптимальних конструктивно-геометричних параметрів зварних швів, виконаних контактним і дуговим зварюванням, здійснювали відповідно до ГОСТ 14098-91.

Дослідження процесів зварювання стикових швів типу С1-Ко арматурних стержнів діаметром 8...14 мм здійснювали на машині для контактної стикового зварювання МС-801 із номінальною силою струму 8кА. Зварювання зразків проводили як на жорстких, так і м'яких режимах, значення основних технологічних параметрів яких визначали експериментально. Так, під час зварювання оплавленням на м'яких режимах щільність зварювального струму залежно від площі поперечного перерізу зразків варіювалася в межах $j_{зв} = 10...60 \text{ А/мм}^2$, час ізотермічної витримки становив $t_{зв} = 8...12 \text{ с}$. Зусилля нагріву $F_n = 10...20 \text{ МПа}$, зусилля осадки $F_{ос} = 100...150 \text{ МПа}$. Установочна довжина при цьому становила $l_{уст} = 14...24 \text{ мм}$.

Зварювання на жорстких режимах здійснювали із деяким підвищенням щільності зварювального струму в межах $j_{зв} = 60...160 \text{ А/мм}^2$, тривалість нагріву становила $t_{зв} = 0,8...2 \text{ с}$. Зусилля нагріву та осадки, як і в попередньому випадку, становили 10...20 МПа та 100...150 МПа відповідно. Установочна довжина також залишалася незмінною $l_{уст} = 14...24 \text{ мм}$.

При зварюванні оплавленням до основних параметрів режиму ще додаються припуск на осадку $\Delta_{ос}$ та оплавлення $\Delta_{оп}$. Припуск на осадку в нашому випадку становив $\Delta_{ос} = 8...12 \text{ мм}$, припуск на оплавлення – $\Delta_{оп} = 3...5 \text{ мм}$.

Перед зварюванням торці та поверхні деталей, що затискаються в губки контактної машини, ретельно очищалися з метою видалення забруднень і створення щільного електричного контакту. Після зварювання зразки з'єднань піддавалися випробуванням на розтяг на розривній машині МР-200. Механічні випробування зразків арматури зварених контактним стиковим зварюванням оплавленням та опором проводили згідно з вимогами ГОСТ 10922-90. Результати випробувань наведено в табл. 3.

Натурні випробування зварних арматурних зразків показали, що застосування м'яких режимів під час зварювання оплавленням з підігрівом забезпечує найбільш якісне зварне з'єднання серед усіх досліджуваних режимів. Границя міцності таких зразків становить 639...685 МПа, що на 10...15 % більша за витривалість зразків зварених із застосуванням жорстких режимів, та на 30...40 % більша за показники міцності зразків, зварених опором. Руйнування відбувалося по основному металу на значній відстані від зварного шва (рис. 2, а).

Результати механічних випробувань арматурної сталі на розрив

Діаметр зразка, мм	Зварювання опором			
	жорсткі режими	Характер руйнування	м'які режими	Характер руйнування
8	476	По ЗТВ	319	По шву
10	496	По ЗТВ	324	По шву
12	505	По ЗТВ	327	По шву
14	518	По ЗТВ	296	По шву
Діаметр зразка, мм	Зварювання оплавленням			
	жорсткі режими	Характер руйнування	м'які режими	Характер руйнування
8	571	По ЗТВ	652	По осн. мет.
10	564	По ЗТВ	639	По осн. мет.
12	548	По ЗТВ	685	По осн. мет.
14	581	По ЗТВ	671	По осн. мет.

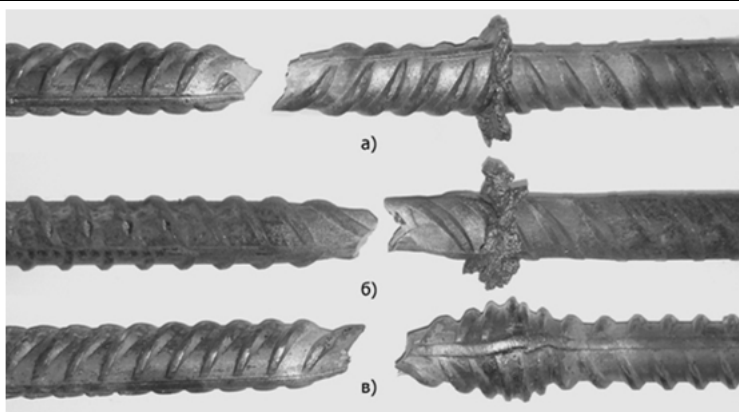


Рис. 2. Зразки арматури діаметром 14 мм зварені контактним стиковим зварюванням оплавленням на м'яких режимах (а), на жорстких режимах (б), опором на жорстких режимах (в) після механічних випробувань на розрив

Застосування жорстких режимів під час зварювання оплавленням призводить до деякого зниження міцнісних показників зварних з'єднань. Границя витривалості на розтяг таких зразків знаходиться в межах 548...581 МПа. Руйнування відбувається виключно по ЗТВ і носить крихкий характер (рис. 2, б). Очевидно, часткова втрата пластичних властивостей зварного з'єднання пов'язана з тим, що зварювання на підвищених щільностях струму призводить до деякого перегріву металу в зоні з'єднання із появою крихких ділянок знеміцнення, обумовлених ростом зерна в зоні термічного впливу (рис. 4, а). Унаслідок чого спостерігається певне підвищення твердості металу на цій ділянці (рис. 5).

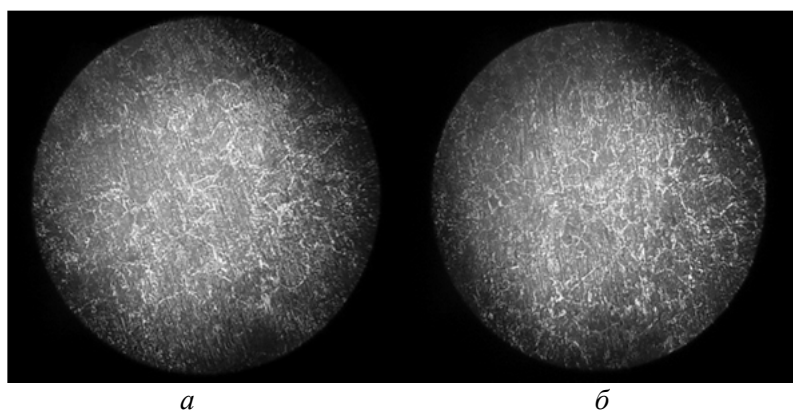


Рис. 4. Мікроструктура зони з'єднання арматури, виконаних стиковим зварюванням оплавленням на жорстких режимах без відпалу (а) та з відпалом (б), $\times 200$ раз

Досягти рівномірності таких зварних з'єднань вдалося завдяки застосуванню наступної термообробки – відпалу, що призвело до активації рекристалізаційних процесів у металі. Внаслідок чого відбувається зміна розмірів зерен металу біляшовної зони в сторону їх подрібнення і, як результат, зниження чисел твердості (рис. 4, б). Це дозволило покращити механічні показники з'єднань. Міцність на розрив таких зразків становила вже 612...644 МПа.

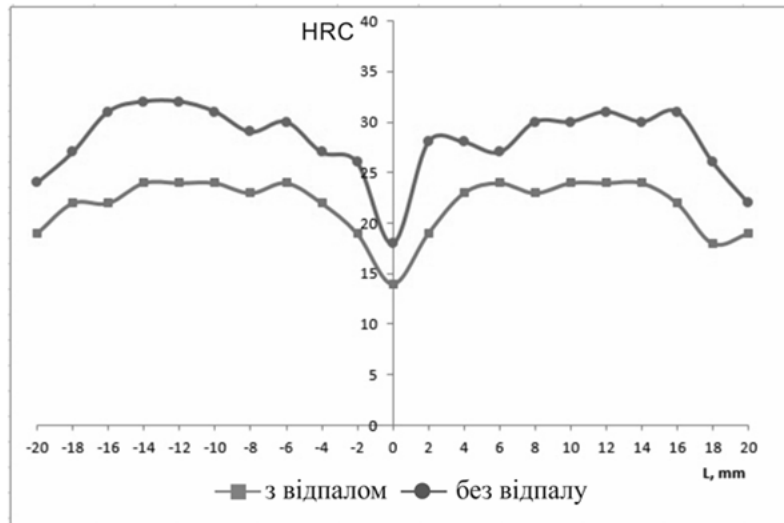


Рис. 5. Розподіл твердості в зоні зварних з'єднань арматури виконаних стиковим зварюванням оплавленням на жорстких режимах

Застосування м'яких режимів під час стикового зварювання опором арматури діаметром 14 мм у наших дослідках не забезпечувало належної якості з'єднань. Руйнування зразків носить крихкий характер і відбувається по зварному шву, а межа міцності не перевищує показник у 327 МПа. На топографії зламу зварного з'єднання помітна ділянка з відсутнім проплавленням, що свідчить про недостатній нагрів торців деталей, що зварюються, обумовленого, скоріш за все, замалою щільністю зварювального струму (рис. 6).

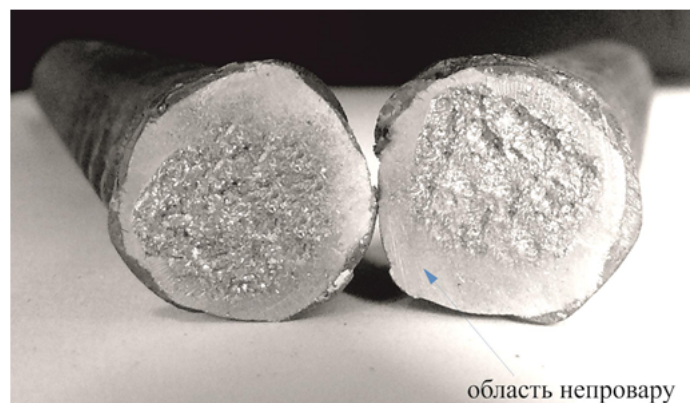


Рис. 6. Характер зламу зварного з'єднання арматури діаметром 14 мм, виконаного стиковим зварюванням опором із застосуванням м'яких режимів після механічних випробувань на розрив

Також у роботі проведено комплекс експериментальних досліджень з визначення міцності напусткових та стикових з'єднань з парними круглими накладками арматурних стержнів діаметром 8...12 мм, виконаних електродуговим зварюванням.

Зварювання напусткових з'єднань типу $S_{23}-P_e$ виконували фланговими протяжними швами з одностороннім та двостороннім проплавленням (рис. 7, а). Стикові з'єднання з парними круглими накладками типу $S_{21}-P_n$ виконували аналогічно до попередніх з одностороннім, шаховим та двостороннім проплавленням (рис. 7, б). Зварювання проводили відповідно до ГОСТ 14098-91.

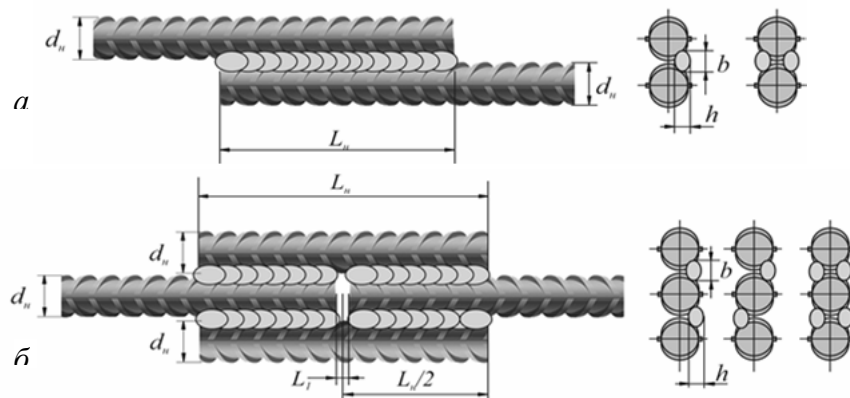


Рис. 7. Зварні з'єднання арматури, виконані РДЗ: а – напустковий типу C_{23} -Ре; б – стикові з накладками типу C_{21} -Рн

Здійснювалось механізоване зварювання в середовищі CO_2 плавким електродом на постійному струмі зворотної полярності величиною $I_{зв} = 130A$. Використовували зварювальний дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм, тимчасовий опір розриву якого становить $\sigma_B = 560$ МПа, що дещо поступається границі міцності арматурних сталей класу А-III (590 МПа). Хімічний склад матеріалу електродного дроту наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Хімічний склад матеріалу електродного дроту Св-08Г2С

Марка дроту	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	S, %	P, %	Cu, %
Св-08Г2С	0,05 -0,11	1,80 -2,10	0,70 -0,95	0,20	0,25	0,010	0,015	0,20

Геометричні параметри виконуваних зварних з'єднань визначалися відповідно до [7] (табл. 5).

Таблиця 5

Геометричні характеристики зварних з'єднань

Тип з'єднання	Клас арматури	d_n , мм	L_n	L_1	b	h
C_{23} -Ре	А-III	8-14	$8d_n$	$0,5d_n$	$0,5d_n$	$0,25d_n$
C_{21} -Рн			$4d_n$			

Механічні випробування зразків зварних з'єднань на розрив проводили відповідно до ГОСТ 10922-90. Результати випробувань наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Результати натурних випробувань зварних зразків арматури

Діаметр зразків, мм	Напусткові з'єднання				Стикові з'єднання з накладками				
	Тимчасовий опір, МПа				Тимчасовий опір, МПа				
	односторонні		двосторонні		односторонні		двосторонні		
8	188	Руйнування по шву	367	Руйнування по ЗТВ	271	Руйнування по шву	423	Руйнування по ЗТВ	525
	178		374		264		439		534
	181		375		259		434		516
10	192	Руйнування по шву	384	Руйнування по ЗТВ	275	Руйнування по шву	461	Руйнування по ЗТВ	566
	186		392		292		479		546
	188		369		288		474		571
12	185	Руйнування по шву	411	Руйнування по ЗТВ	307	Руйнування по шву	505	Руйнування по ЗТВ	578
	198		394		321		512		582
	191		408		318		489		575

За результатами механічних випробувань встановлено, що шви напусткових та стикових з'єднань, виконані з одностороннім проплавленням, не забезпечують високої міцності з'єднань. Межа витривалості таких зразків не перевищує 192...321 МПа відповідно. Руйнування зразків увесь час відбувалося по зварному шву. Низька міцність односторонніх напусткових швів під час випробування на розтяг обумовлена, очевидно, складним напруженим станом, що виникає внаслідок неспіввідності прикладання навантаження і, як наслідок, появи згинального моменту.

Зварювання арматури шаховими та двосторонніми швами дещо підвищило тимчасовий опір зварних з'єднань, але не дозволило досягти їх рівномірності. Так, показники міцності напусткових та стикових з'єднань арматурних стержнів у наших дослідях коливалися в межах 411...578 МПа, що дещо поступається міцності основного металу (600 МПа). Руйнування зразків відбувалося увесь час по ЗТВ і носить крихкий характер (рис. 8).



Рис. 8. Зразки зварних з'єднань арматури після натурних випробувань на розрив:
а – стикових з парними накладками; б – напусткових

Мікроструктурні дослідження металу зварного шва та ЗТВ дозволили визначити основні причини такого руйнування. Так, у результаті металографічного аналізу встановлено, що мікроструктура металу шва характеризується переважно ферито-перлітною структурою із додаванням невеликої кількості бейніту (рис. 9, а).

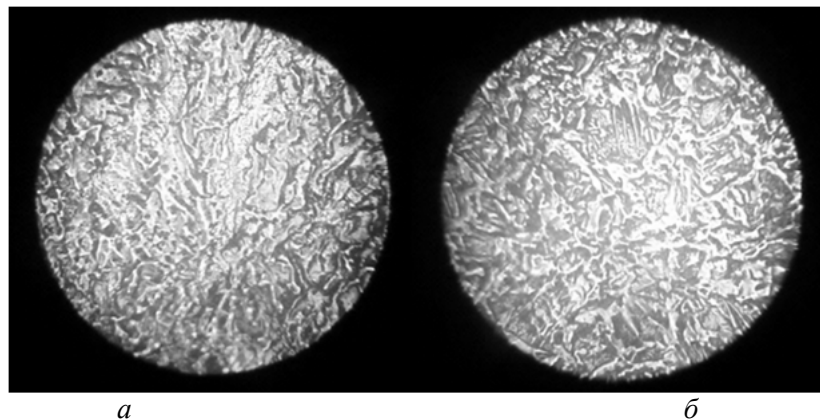


Рис. 9. Мікроструктура металу зварного шва (зварювальний дріт Св-08Г2С) (а);
зони термічного впливу (ділянка перегріву) (б)

Поява голчастих зерен мартенситу разом зі зростанням кількості бейніту, що спостерігається у структурі металу біляшовної зони (ділянки перегріву), зумовлює підвищену схильність таких з'єднань до теплової крихкості (рис. 9, б). У зв'язку з цим тривалий час ізотермічної витримки під впливом підвищених температур протягом зварювального циклу неминуче призводить до появи в ЗТВ малопластичних гартівних структур, що стають причиною знеміцнення металу на цій ділянці.

Висновки і пропозиції. Результати проведених досліджень дозволяють зробити такі висновки:

1. Експериментальним шляхом встановлено, що досліджувані зразки стержневої арматури відповідають класу міцності А-III, межа текучості яких у наших дослідях коливалася в межах 374...412 МПа, а відносно подовження не перевищувало 14 %.

2. Розрахунок вуглецевого еквівалента показав, що арматурні сталі досліджуваного класу відносяться до категорії, що важко зварюються зі схильністю до утворення кристалізаційних тріщин.

3. Проведені дослідження процесів зварювання стикових швів арматури контактним стиковим зварюванням показали, що застосування м'яких режимів під час зварювання оплавленням із попереднім підігрівом забезпечує отримання рівномірних із основним металом стикових з'єднань із межею витривалості на рівні 639...685 МПа.

4. Встановлено, що застосування відпалу після зварювання дозволяє уникнути крихких руйнувань у ЗТВ та досягти рівномірності зварних з'єднань, отриманих на жорстких режимах за рахунок перекристалізаційних процесів, що супроводжуються зниженням твердості внаслідок подрібнення зерен на цій ділянці.

5. Встановлено, що з'єднання, отримані із використанням електродугових процесів зварювання плавленням, характеризуються різкою неоднорідністю металу зварного шва і ЗТВ зі схильністю до теплової крихкості внаслідок утворення малопластичних гартівних структур. Міцність таких з'єднань не перевищує 516...578 МПа. Таким чином, підвищена чутливість арматурних сталей до зварювального нагріву висуває певні вимоги до термічного циклу зварювання, головним чином пов'язаних з усунення крихких загартованих ділянок і забезпечення однорідної структури у звареному шві і зоні термічного впливу.

Список використаних джерел

1. Врублевская В. В. Исследование прочности крестообразных соединений из стальной арматуры малых диаметров, выполненных дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа / В. В. Врублевская, А. А. Васильев, Д. М. Гурский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 3. – С. 80–85.

2. Чвертко П. Н. Контактная стыковая сварка стержневой арматуры классов А400С-А600С при строительстве конструкций из монолитного железобетона / П. Н. Чвертко // Автоматическая сварка – 2010. – № 8. – С. 30–34.

3. Болотов М. Г. Аналітичний огляд основних причин та наслідки аварій будівель та споруд, що сталися на території України за останні п'ять років / М. Г. Болотов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 4 (69). – С. 197–204.

4. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 30 с.

5. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 21с.

6. Болотов Г. П. Ручне дугове зварювання будівельних сталей малоамперною дугою модульованим струмом / Г. П. Болотов, С. В. Олексієнко, М. Г. Болотов // Технічні науки та технології. – 2015. – № 1 (1). – С. 48–53.

7. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. – М. : Издательство стандартов, 2014. – 19 с.

References

1. Vrublevskaia, V.V., Vasilev, A.A., Gurskii, D.M. (2013). Issledovanie prochnosti krestoobraznykh soedinenii iz stalnoi armatury malykh diametrov, vypolnennykh dugovoi svarkoi poluavtomatom v srede aktivnogo gaza [Research strength of cruciform joints of steel reinforcement of small diameter, made semi-automatic arc welding in active gas atmosphere]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii B. Promyshlennost. Prikladnye nauki – Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied science*, no. 3, pp. 80–85 (in Russian).

2. Chvertko, P.N. (2010). Kontaktnaia stykovaia svarka stержnevoi armatury klassov A400S-A600S pri stroitelstve konstruktsii iz monolitnogo zhelezobetona [Flesh-butt welding rod reinforcement classes A400S, A600S in the construction of reinforced concrete structures]. *Avtomaticheskai svarka – Automatic Welding*, no. 8, pp. 30–34 (in Russian).

3. Bolotov, M.G. (2013). Analitychnyi ohliad osnovnykh prychnyn ta naslidky avarii budivel ta sporud, shcho stalysia na terytorii Ukrainy za ostanni piat rokiv [Analytical report of main causes and consequences of accidents of buildings and structures on the territory of Ukraine for the past five years]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universitetu. Serii «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 4(69), pp. 197–204 (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. GOST 12004-81 (1983). *Stal armaturnaia. Metodyi ispytaniya na rastyazhenie [Reinforcing steel. Methods for tensile testing]*. Moscow: Izdatelstvo standartov (in Russian).
5. DSTU 3760:2006 (2007). *Prokat armaturniy dlya zalizobetonnih konstruksiy. Zahalni tehnicni umovi [Rent reinforcement for concrete structures. General specifications]*. Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukrainy (in Ukrainian).
6. Bolotov, G.P., Oleksienko, S.V., Bolotov, M.G. (2015). Ruchne duhove zvaryuvannia budivelnykh stalei maloampernoju duhoiu modulovanim strumom [Hand arc welding builds steels by littleampere arc with modulation of current]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, no. 1 (1), pp. 48–53 (in Ukrainian).
7. GOST 14098-2014 (2014). *Soedineniia svarynye armatury i zakladnykh izdelii zhelezobetonnykh konstruksii. Tipy, konstruksii i razmery [Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. The types and sizes of constructions]*. Moscow: Izdatelstvo standartov (in Russian).

Болотов Геннадій Павлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Болотов Геннадій Павлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bolotov Gennady – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bolotovgp@mail.ua

Researcher ID: H-5304-2014

ORCID: orcid.org/0000-0003-0305-2917

Scopus Author ID: 6506157907

Болотов Максим Геннадійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Болотов Максим Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bolotov Maksym – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: piligrim.83@mail.ru

Researcher ID: H-4183-2014

Scopus Author ID: 57190377278

ORCID: orcid.org/0000-0002-0915-4132

Ганєєв Тимур Рашитович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ганеев Тимур Рашитович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Haniiev Timur – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gatavltim@ukr.net

ORCID: orcid.org/0000-0001-6037-5494

Корзаченко Микола Миколайович – викладач кафедри промислового і цивільного будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Корзаченко Николай Николаевич – преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Korzachenko Mykola – lecturer of Department of Civil and Industrial Construction, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: korzachenko_87@meta.ua

Researcher ID: F-5177-2016

ORCID: orcid.org/0000-0002-5674-8662

УДК 621.791

Віталій Яценко, Юрій Фальченко, Лідія Петрушинець, Юрій Клименко,
Олег Новомлинець

ВПЛИВ ФАКТОРІВ КОСМОСУ НА НАДЛЕГКУ СИСТЕМУ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ: КОНЦЕПЦІЯ, МЕТОДИ ТА АНАЛІЗ РИЗИКІВ

Віталій Яценко, Юрій Фальченко, Лідія Петрушинець, Юрій Клименко,
Олег Новомлинець

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ КОСМОСА НА СВЕРХЛЕГКУЮ СИСТЕМУ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: КОНЦЕПЦИЯ, МЕТОДЫ И АНАЛИЗ РИСКОВ

Vitaliy Yatsenko, Yurii Falchenko, Lidiia Petrushynets, Yuriy Klymenko, Oleg Novomlynets

SPACE FACTORS INFLUENCE ON SUPERLIGHT-WEIGHT THERMAL PROTECTION SYSTEM: CONCEPT, MODELING, AND RISK ANALYSIS

Проведено огляд стану розробок і описано сучасні підходи до оцінювання впливу негативних факторів космосу на матеріали, елементи і систему теплового захисту (СТЗ). У межах європейського проекту «Super light-weight thermal protection system for space application (LIGHT-TPS)» проводилися дослідження на основі моделювання макетного зразка СТЗ космічних апаратів багаторазового використання (БКА). Наведено приклади моделювання розподілу температури в центрі зразка з Ni залежно від пористості. Запропоновано новий метод оцінювання ризику та мінімізації впливу умов космічного середовища на СТЗ з урахуванням режимів термічної обробки, детермінованих та стохастичних факторів. Проведено аналіз і оптимізацію температурних полів СТЗ під час дифузійного зварювання.

Ключові слова: система теплового захисту, фактори космосу, аналіз ризиків, космічні апарати багаторазового використання, моделювання, дифузійне зварювання.

Рис.: 8. Бібл.: 12.

Проведен обзор состояния разработок и описаны современные подходы к оценке влияния негативных факторов космоса на материалы, элементы и систему тепловой защиты (СТЗ). В рамках европейского проекта «Super light-weight thermal protection system for space application (LIGHT-TPS)» проводились исследования на основе моделирования макетного образца СТЗ космических аппаратов многоразового использования (БКА). Приводятся примеры моделирования распределения температуры в центре образца из Ni в зависимости от пористости. Предложен новый метод оценки риска и минимизации влияния условий космической среды на СТЗ с учетом режимов термической обработки, детерминированных и стохастических факторов. Проведен анализ и оптимизация температурных полей СТЗ при диффузионной сварке.

Ключевые слова: система тепловой защиты, факторы космоса, анализ рисков, космические аппараты многоразового использования, моделирование, диффузионная сварка.

Рис.: 8. Библ.: 12.

A survey of the development status was conducted and modern approaches to the estimation of negative impact of space factors on materials, elements and heat-protection system (HPS) have been described. Within the European project "Super light-weight thermal protection system for space application (LIGHT-TPS)" researches based on the breadboard modeling of HPS of reusable space vehicles (RSV) have been conducted. Modeling examples of temperature distribution in the center of sample with Ni depending on the porosity have been given. A new method of risk assessment and minimization of negative influence of space factors on HPS was proposed. It is based on heat treatment, deterministic and stochastic factors. Analysis and optimization of temperature patterns in HPS during the diffusion welding has been carried out.

Key words: heat-protection system, space factors, risk analysis, reusable space vehicles, modeling, diffusion welding.

Fig.: 8. Bibl.: 12.

Постановка проблеми. На космічний апарат на всіх стадіях польоту впливає велика кількість негативних факторів, які можуть порушувати його тепловий захист. У зв'язку з цим у цій статті розглядається актуальна проблема оцінювання ризику у процесі впливу факторів космосу на матеріали, елементи і систему теплового захисту (СТЗ). З нею пов'язана проблема мінімізації ризику, яка може бути вирішена системно за рахунок оптимального вибору якісних матеріалів та технологій виготовлення системи теплозахисту. Інша можливість полягає у контролі стану системи теплозахисту під час польоту та його автоматичного коригування. Тому важливо обґрунтувати динамічний імовірнісний підхід до аналізу ризику елементів СТЗ з використанням фізичної моделі системи теплозахисту і передбачуваного рівня впливу факторів космосу. Основна увага приділена моделі СТЗ, математичній моделі динамічної оцінки ймовірного ризи-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ку та програмному забезпеченню. Імовірна оцінка ризику являє собою системний, структурований і логічний метод аналізу, спрямований на виявлення та оцінку ризиків у СТЗ для того, щоб ефективно підвищити її безпеку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Космічні системи, такі як «Space Shuttle» та «Енергія-Буран», включають системи теплового захисту [1]. Вони не тільки повинні надійно функціонувати, але й добре інтегруватися з іншими підсистемами. На поверхню орбітального апарату впливає надзвичайно висока температура. Тому СТЗ повинна мати можливість її багаторазового використання, крім того, вона повинна бути надлегкою та недорогою. Транспортний засіб також повинен мати низьку вразливість до орбітального сміття і мінімальну теплопровідність. Розробники повинні надійно з'єднувати систему теплового захисту орбітального апарату безпосередньо з алюмінієвою обшивкою корпусу. Зовнішній бак також повинен мати теплову ізоляцію для криогенного палива, рідкого водню і рідкого кисню. Вона також повинна забезпечити додаткову структурну цілісність під час запуску і після повернення з орбіти.

Провідне місце під час створення багаторазових космічних апаратів (БКА) також посідає проблема теплового захисту. Вартість розробки та виготовлення СТЗ може перевищувати чверть вартості усього космічного апарату. Тепловий захист головних частин балістичних ракет, апаратів, що спускаються, пілотованих кораблів та автоматичних планетних станцій переважно створюється на основі руйнівних (аблюючих) теплозахисних матеріалів. Одним із найбільш ефективних аблюючих теплозахисних матеріалів є «Phenolic Impregnated Carbon Ablator» (PICA-X) [2; 3], використаний для захисту спускового апарату «Space X's Dragon spacecraft», поверхня якого при швидкості входу 7 км/с нагрівається до температури 1850 °С. У цьому випадку тепловий потік, що діє на теплозахисне покриття, у 10 разів нижче, ніж при вході в атмосферу з 2-ю космічною швидкістю.

В активних системах використовується рідкий або газоподібний охолоджувач, що дозволяє відвести надлишок тепла з тильної поверхні або з об'єму під час фільтрації за рахунок фізико-хімічних перетворень. Активні системи теплового захисту, здебільшого, технічно більш складні в порівнянні з пасивними. Наявність ємностей з охолоджувачем, трубопроводів, насосів або акумуляторів тиску та інших допоміжних пристроїв знижує їх масово-геометричну ефективність.

Найбільше використання нині знайшли системи теплового захисту БКА. В цих системах та конструкціях використовуються різноманітні матеріали. Метод теплового захисту БКА в основному визначається величиною та тривалістю впливу теплових потоків на його теплонапружені елементи. Наприклад, у діапазоні температур 800–1260 °С використовується високотемпературний плитковий теплозахист, який успішно використовувався для захисту великої частини поверхні БКА «Space Shuttle» та «Енергія-Буран» від аеродинамічного нагріву та сонячного випромінювання. Плитковий теплозахист виконаний з легкого волокніту на основі кварцових ниток з розмірами лицьової поверхні 150x150 мм. На лицьову поверхню плитки та бокові грані нанесено суцільне біле або чорне скловидне покриття на основі SiO₂ товщиною 0,3–0,4 мм. Таке покриття має низьку каталітичну активність щодо гетерогенної рекомбінації атомів повітря та високу випромінювальну здатність [4].

Для корабля «БУРАН» використовувались дві марки сплаву з питомою вагою 150 та 250 кг/м³. Їм присвоєні марки ТЗМК-10 и ТЗМК-25 відповідно [5]. Ці матеріали задовольняють проектним вимогам за теплозахисними властивостями, але не можуть бути використані в конструкції теплозахисту, оскільки не задовольняють іншим вимогам, наприклад, за ерозійною стійкістю, вологопроникністю (пористість цієї теплоізоляції становить 95 % та більше) та іншим параметрам. Ці обставини вимагають створення захисних покриттів, властивості яких повинні компенсувати недоліки матеріалів ТЗМК.

Умови експлуатації корабля «БУРАН» передбачають вплив на захисне покриття до 22 ушкоджуючих факторів. Їх аналіз дозволив сформулювати основні вимоги до матеріалів покриття та створити склоподібні матеріали за технологією “золь-гель” процес. Для захисту кварцевої кераміки були розроблені покриття ЭВЧ-4М1У-3 та ЭВЧ-6, які містять чорний пігмент, та покриття ЭВС-6, які містять білий пігмент [6].

Для теплонапружених БКА серії «Space Shuttle» використовувались аналогічні матеріали. Наприклад, носова частина фюзеляжу та передні кромки крил БКА серії, які нагріваються до температури 1480 °С, захищені теплозахисним покриттям RCC (вуглець-вуглець) на основі вуглецевої тканини, просоченої піровуглецем. Ділянки, які нагріваються до 540–1220 °С, захищені теплозахистом HRSI на основі плиток із кварцового волокна [7].

В Європейському проекті багаторазового космічного корабля ГЕРМЕС теплозахист найбільш нагрітих елементів конструкції (носовий обтікач, кромки крил та інше) планувалося виконувати з вуглець-вуглецевих матеріалів, а більшу частину корпусу – із матеріалів-аналогів плиткового теплозахисту майже таких самих типів, що й на кораблі БУРАН.

Виділення не вирішеної раніше частини актуальної проблеми. У роботі, крім проблеми оцінювання ризику, представлено результати моделювання розподілу температури в центрі зразка з Ні залежно від його пористості та експериментальні дослідження з нагрівання макетного зразка тришарової стільникової панелі теплозахисної системи космічного апарату багаторазового використання. Проведено аналіз й оптимізацію температурних полів.

Мета статті. Робота присвячена актуальній проблемі оцінювання ризику у процесі впливу факторів космосу на матеріали, елементи і систему теплового захисту космічних апаратів та порівняльного аналізу результатів чисельного моделювання й експериментальних досліджень під час дифузійного зварювання теплозахисної панелі.

Викладення основного матеріалу.

Концепція моделювання СТЗ

У межах європейського проекту “Super light-weight the thermal protection system for space application (LIGHT-TPS)” проводились дослідження на основі моделювання макетного зразка системи теплозахисту космічних апаратів багаторазового використання з питомою вагою не більш 10 кг/м³.

Основна увага у процесі дослідження була приділена аналізу впливу факторів космосу на СТЗ [8–10] на основі таких підходів: синергетичних, оптимізаційних, ймовірнісних і обчислювальних. Перший стосується самовпорядкованого синтезу структур і створення технологій на принципах самоорганізації у поєднанні зі створенням матеріалів з новими функціональними властивостями.

Другий підхід показує, як методи оптимізації можуть бути використані для визначення мікроструктур матеріалу з оптимізованими або заданими властивостями. Він дозволяє знаходити мікроструктури з екзотичною поведінкою (наприклад, негативні коефіцієнти теплового розширення). Оптимізаційний підхід стосується реалізації матеріалів із заданою, але обмеженою мікроструктурною інформацією: розглядом обернених задач фундаментального та практичного значення. Обчислювальні моделі, засновані на теорії молекулярної динаміки та квантової механіки, дозволяють передбачити зміну фундаментальних властивостей матеріалів. Це завдання вирішується за допомогою детермінованих і стохастичних методів оптимізації.

Третій підхід стосується динамічного ймовірнісного аналізу ризику СТЗ і її елементів та оцінки характеристик можливих пошкоджень з використанням фізичної моделі системи СТЗ і передбачуваного рівня космічної радіації. Основна увага зосереджена на моделі СТЗ, математичній моделі динамічної оцінки ризику та програмному забезпе-

ченні для моделювання та прогнозування впливу космічного середовища. Метод ймовірнісної оцінки ризику для СТЗ враховує детерміновані та стохастичні чинники.

Останній підхід враховує результати чисельного моделювання та експериментального дослідження розподілу температури на поверхні панелі розміром $150 \times 150 \times 16$ мм при дифузійному зварюванні у вакуумі. На основі аналізу розподілу температури пропонується спосіб вирівнювання температурних полів на поверхнях виробів, що зварюються.

Новий підхід до оцінювання можливих ризиків СТЗ

Нами проведено аналіз сучасних підходів до оцінювання негативних факторів космосу на матеріали, елементи та системи СТЗ (рис. 1).



Рис. 1. Вплив факторів космосу на систему теплового захисту космічних апаратів

Основні принципи оцінювання ризику можуть бути застосовані до СТЗ з використанням статистичних та оптимізаційних методів. Аналіз ризиків повинен також враховувати аспекти людської поведінки розробника. Тому нами було запропоновано такий набір методів оцінювання ризиків: а) статистичні; б) оцінювання надійності; в) методи оптимізації; г) прискорене моделювання СТЗ; д) нелінійні математичні моделі.

Дослідження радіаційного впливу на космічні апарати стає все більш важливим останніми роками [11]. Уже давно відомо, що електричні системи чутливі до радіації. Недавні дослідження показали ймовірність того, що механічні пристрої також можуть бути схильні до радіаційно-індукованих пошкоджень. Особливо чутливі до радіації пристрої, що керують електричними полями через ізолятори, тобто електростатично розташовані консольні балки. Оскільки ізолятори можуть руйнуватися у випадку діелектричного розриву, існує велика ймовірність, що ці пристрої будуть мати знижену продуктивність у космічному середовищі. Ще одна складність полягає в тому, що випромінювання може викликати пошкодження решітку матеріалів СТЗ. Незважаючи на довгу історію системи СТЗ, у конкретній системі СТЗ дуже важливо вивчити вплив іонізуючого випромінювання на СТЗ. Ця проблема неодноразово розглядалась дослідниками для забезпечення надійних і практичних СТЗ для космічних польотів.

Ми визначаємо ризик як ймовірність майбутніх втрат. Для аналізу ризику ми пропонуємо використовувати метод вимірювання відхилень.

Для цього введемо простір станів Ω , де елементи $\omega \in \Omega$ представляють стани СТЗ. Крім того, нехай P імовірнісна міра Ω . Тепер розглянемо функції $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$, які інтерпретуються як випадкові величини, що належать до лінійного простору L^2 , тобто функції, для яких середнє значення $\mu(X)$ і дисперсія $\sigma^2(X)$ існує. Така функція X може описувати якість СТЗ. Під час оцінювання ризику системи СТЗ на L^2 ми маємо на увазі деякий функціонал $\Gamma: L^2 \rightarrow \mathbb{R}$, що задовольняє (частково або повністю) таким умовам:

- $\Gamma(X + C) = \Gamma(X) - C$ для всіх X і констант C ;
- позитивна однорідність;
- субаддитивність;
- очікувана обмеженість;
- монотонність.

Функція, яка задовольняє всім п'яти умовам, називається *когерентною мірою ризику* [11].

У фізичних додатках необхідно звести до мінімуму ризик в експлуатаційних умовах. Розглянемо підмножину X множини L . Нехай Π непусто, компактно, замкнуто й опукло. Тоді ми зацікавлені у вирішенні наступної проблеми:

$$\min\{\Gamma(X) \mid \text{overall } X \in \Pi\}. \quad (1)$$

Такий підхід дозволяє використовувати методи оцінювання ризику впливу факторів космосу для оцінювання можливих пошкоджень компонентів СТЗ. Функціональна модель аналізу ризику показана на рис. 2.

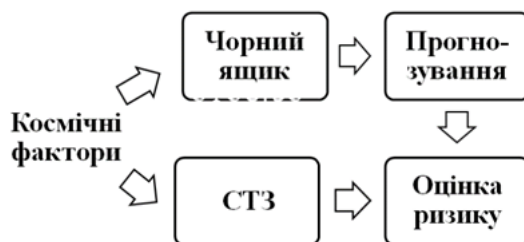


Рис. 2. Функціональна схема аналізу ризику

Нехай $z = f(v, u)$ – функція втрат СТЗ, яка залежить від керуючого впливу u і випадкового вектора v . Вектор керування u належить до множини U , яка задовольняє певним вимогам. Будемо вважати, що випадковий вектор u має щільність ймовірності $p(u)$. Тепер розглянемо функцію [11].

$$\Phi_\alpha = (v, \zeta) = \zeta + (1 - \alpha)^{-1} \int_{f(v, u) > \zeta} (f(v, u) - \zeta) p(u) du, \quad (2)$$

де α – CVaR рівень конфіденційності і величина ζ негативна.

Це дозволяє включати CVaR в обмеження і замінити їх за допомогою функції $\Phi_\alpha(v, \zeta)$. Наприклад, розглянемо задачу мінімізації середніх втрат $\mu(v) = E(-f(v, u))$ при обмеженні $v \in V$ і двох CVaR обмеженнях з рівнями конфіденційності β і γ . Розглянемо два CVaR рівні з константами C_β і C_γ . В цьому випадку оптимізаційна проблема може бути описана такими рівняннями:

$$\min \mu(v), \quad (3)$$

$$v \in V, \Phi_\beta(v, \zeta) \leq C_\beta, \Phi_\gamma(v, \eta) \leq C_\gamma, \quad (4)$$

$$\zeta, \eta \geq 0. \quad (5)$$

Розв'язок цієї оптимізаційної проблеми може бути знайдено за допомогою пакета програм Optimization Toolbox системи Matlab.

Для того, щоб провести порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень з результатами чисельного моделювання, нами отримані чисельні залежності впливу пористості матеріалу на основі нікелю на температуру його нагрівання (рис. 3).

На рис. 3 наведена група кривих, що показує еволюцію температури всередині матеріалу з пористого нікелю у разі поміщення його в піч з температурою 2400 °С. Криві відповідають різному геометричному розподілу пористості в матеріалі. Мале відхилення в поведінці цих кривих (рис. 3, а, з) свідчить про те, що конфігурація металеві складової цього матеріалу при низькій і високій пористості не відіграє суттєвої ролі на процесі перенесення тепла і на розподіл температури в цьому матеріалі. Також звертає на себе увагу, що при збільшенні пористості матеріалу відбувається зміна швидкості його нагрівання. Так, на рис. 3, а при пористості 1 % швидкість нагріву найбільша, а при пористості 90 % (рис. 3, з) – найменша.

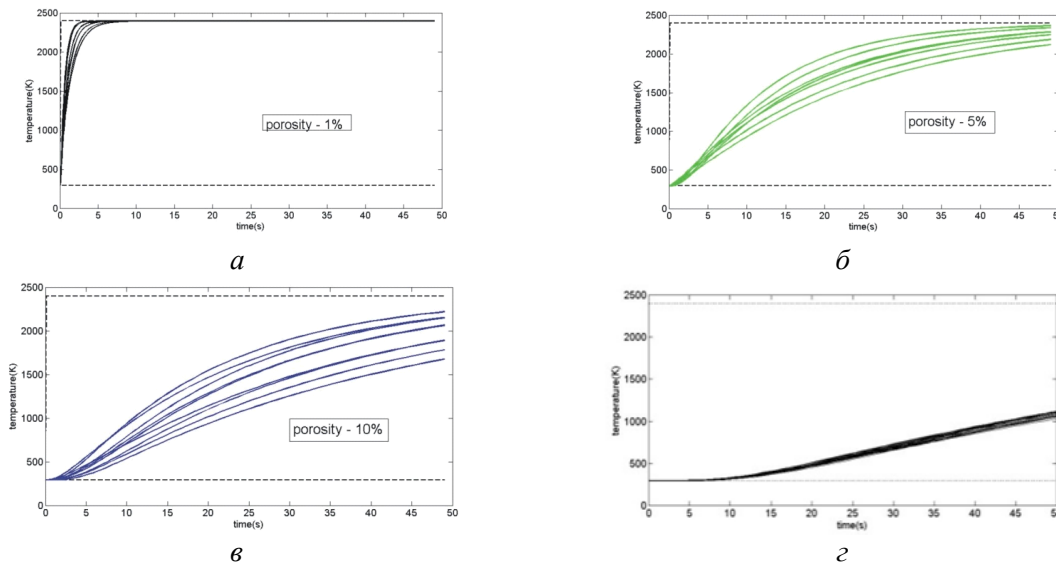


Рис. 3. Розподіл температури в центрі зразка з нікелю залежно від його пористості: а – пористість матеріалу 1 %; б – пористість матеріалу 5 %; в – пористість матеріалу 50 %; г – пористість матеріалу 90 %

Представлені вище результати мають важливе значення як для обліку впливу факторів космосу на зниження ризику нерівномірності нагріву СТЗ, так і при отриманні зварного з’єднання. У процесі зварювання необхідно забезпечувати однорідність нагріву зварювальних поверхонь.

Конструктивно СТЗ складається з окремих теплозахистних панелей (ТЗП), які у свою чергу складаються зі стільникового заповнювача, верхньої та нижньої кришок (рис. 4).

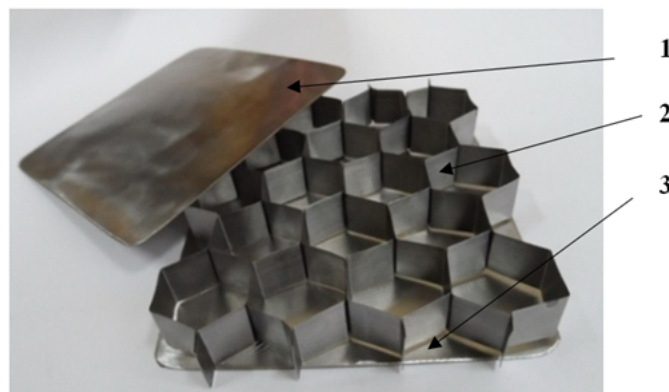


Рис. 4. Видяг елементів тришарової стільникової панелі: 1 – верхня кришка; 2 – стільниковий заповнювач; 3 – нижня кришка

Вага ТЗП, звареної зі стільникового заповнювача розміром 150×150×16 мм з товщиною стінки 0,03 мм, верхньої і нижньої кришок відповідно товщиною 0,5 мм і 0,1 мм, становить приблизно 120...130 грам. Мала вага тришарової панелі обумовлена наявністю пустотілих осередків і застосуванням як матеріалу порошкового сплаву на основі ніхрому – ЮПМ-12000. Розрахунок показує, що вага відповідного обсягу металу зі сплаву NiCr становить – $M = \gamma \times V = 2880$ грам. Можна розрахувати, що «умовна» пористість ТЗП панелі становить близько 95 %.

Оптимізація умов нагрівання ТЗП під час дифузійного зварювання у вакуумі

Як зазначалося раніше, у процесі дифузійного зварювання важливе значення має забезпечення однорідності нагрівання поверхонь виробів, що обумовлює однорідність властивостей зварного з’єднання. Тому під час дифузійного зварювання виробів з розвиненою поверхнею необхідно контролювати характер нагрівання різних ділянок виробів. Аналіз

конструкції ТЗП і конструкції робочої камери установки для дифузійного зварювання показує, що умови для рівномірного нагріву тришарової панелі не є сприятливими (рис. 5).

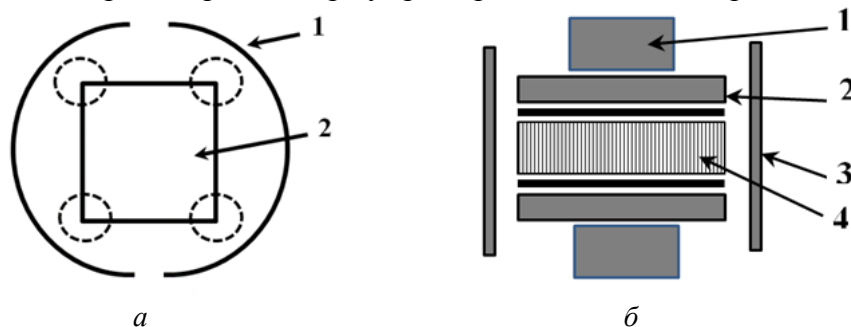


Рис. 5. Схема нагрівання ТЗП в умовах дифузійного зварювання: а – вигляд зверху: 1 – нагрівачі з молібдену; 2 – ТЗП; б – вигляд збоку: 1 – верхній і нижній штоки; 2 – верхній і нижній фланці; 3 – нагрівачі; 4 – ТЗП

Встановлено, що нерівномірність нагрівання ТЗП обумовлена її прямокутною формою (рис. 5, а) і циліндричною формою молібденових нагрівачів, що сприяє переважному нагріванню кутів і бокової поверхні панелі. До умов, які не сприяють рівномірному нагріванню панелі, також можна віднести відносно малу її висоту і значну площу (рис. 5, б). Площа панелі становить 225 см^2 , а її висота – 1,6 см.

У цій роботі зварювання ТПЗ і система нагрівання аналізувалися за допомогою аналітичних та чисельних моделей. Зокрема, чисельна модель була реалізована за допомогою методу скінченних елементів. Теоретичні результати були зіставлені з експериментальними даними з щодо різниці температур, що показує істотну надійність як аналітичних, так і чисельних моделей. Після перевірки моделі скінченних елементів був проведений аналіз чутливості для дослідження впливу деяких змінних.

Для вимірювання температури використовували хромель-алюмелеві (ХА) термопари, які були зафіксовані на стільниковому заповнювачі і поверхні кришки (рис. 6). Візуальний контроль температури здійснювали за допомогою багатоканального контролера «ЕРА С1-ІТ-4УН», а запис сигналу в цифровому вигляді проводили за допомогою DATA LOGGER «DT-171Т».

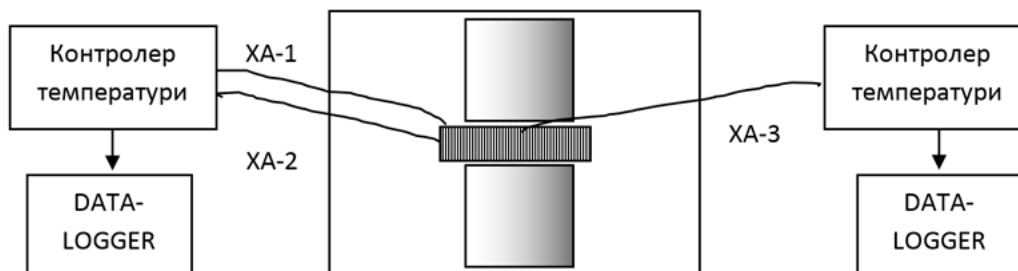


Рис. 6. Схема проведення експериментів

Нами також досліджено вплив різних умов нагрівання на розподіл температури на поверхні ТЗП. У першому варіанті панель встановлювали між верхнім і нижнім штоком і нагрівали безпосередньо. У другому варіанті для нагрівання ТЗП використовували технологічне оснащення, яке складалося з верхнього і нижнього фланців і втулки. Цей пристрій повинен був перерозподілити потік тепла від нагрівачів з бічної поверхні ТЗП на її торцеві поверхні.

Нагрівання ТЗП без застосування технологічного оснащення

ТЗП встановлювали між верхнім і нижнім штоками, діаметр яких був менше ніж площа кришок і становив 90 мм. Висота молібденових нагрівачів становила 200 мм. Термопари були зафіксовані на торцевій поверхні стільникового заповнювача, в кутку і центрі верхньої кришки. Температуру в контрольних точках фіксували одночасно.

Швидкість нагрівання ТЗП становила $V = 50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$. Як показали проведені дослідження, найбільш інтенсивний нагрів спостерігається на стільниковому заповнювачі. За контрольний час вимірювання температура на ньому досягла $900 \text{ }^\circ\text{C}$. У кутку верхньої кришки ТЗП максимальна температура становила $800 \text{ }^\circ\text{C}$, а в її центральній частині $650 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким чином, можна зробити висновок, що під час нагрівання ТЗП у різних її ділянках спостерігається значний перепад температур (рис. 7).

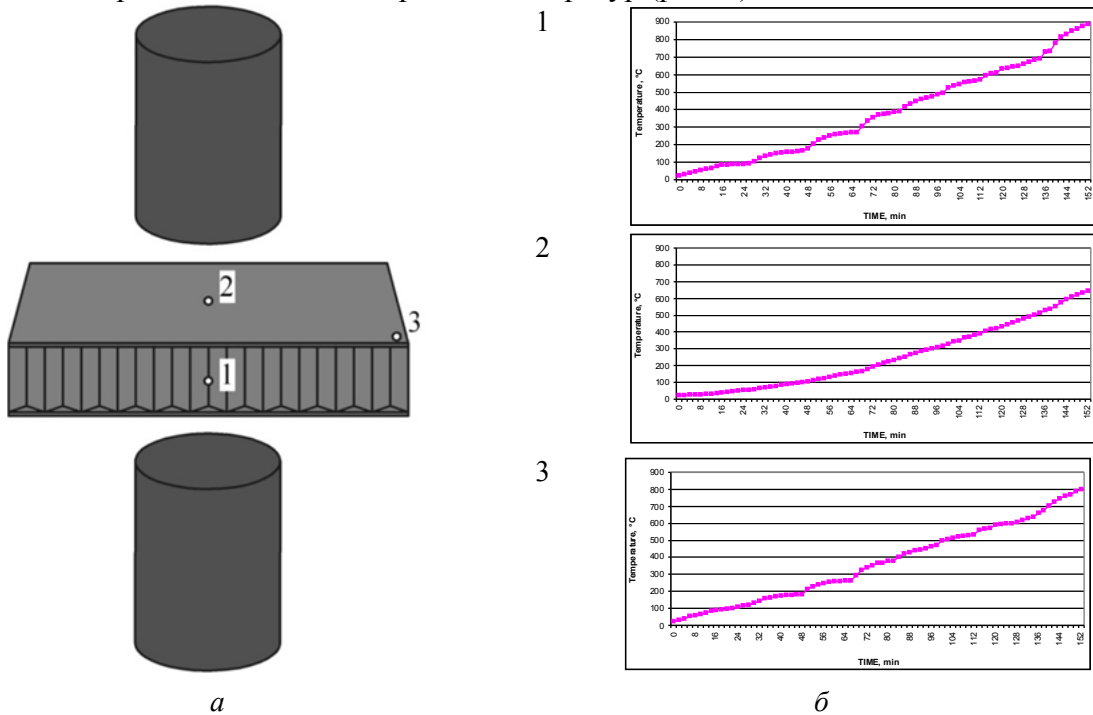


Рис. 7. Схема розташування ТЗП у робочій камері установки (а), точками 1-3 позначено місця фіксації термопар та графіки нагрівання різних ділянок на поверхні ТЗП (б)

У ТЗП найбільш інтенсивно нагрівається стільниковий заповнювач і кути кришок відповідно до $900 \text{ }^\circ\text{C}$ і $800 \text{ }^\circ\text{C}$, а нагрівання центральної частини кришок уповільнено – $650 \text{ }^\circ\text{C}$.

Слід зазначити, що під час дифузійного зварювання виробів з розвиненою поверхнею широко використовується технологічний прийом – зварювання у формуючих пристроях [12]. Застосування оснащення дозволяє вирівняти температуру в різних частинах виробу, що підлягає зварюванню, а також більш плавно регулювати тиск зварювання.

Нагрівання ТЗП у технологічному оснащенні

У цьому варіанті нагрівання ТЗП проводили в технологічному оснащенні. ТЗП встановлювали у фланець висотою 50 мм, всередині якого було вифрезеровано місце для стільникового заповнювача розміром $150 \times 150 \text{ мм}$. Зверху і знизу відносно ТЗП також встановлювали масивні фланці. Термопари були зафіксовані на краю фланця зі стільниковим заповнювачем та посередині, центрі та кутку верхньої кришки. Отримані результати наведені на рис. 8.

Аналіз отриманих графіків показує, що застосування технологічного оснащення дозволяє вирівняти температуру по поверхні ТЗП. Температура на всіх ділянках ТЗП відповідно до графіків розподілу температури становить близько $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Умови нагрівання ТЗП аналізували за допомогою аналітичних і чисельних моделей. Зокрема, чисельна модель була реалізована за допомогою методу скінченних елементів. Теоретичні результати були зіставлені з експериментальними даними щодо різниці температур, показує істотну надійність як аналітичних, так і чисельних моделей. Після перевірки моделі кінцевих елементів був проведений аналіз чутливості для дослідження впливу деяких змінних.

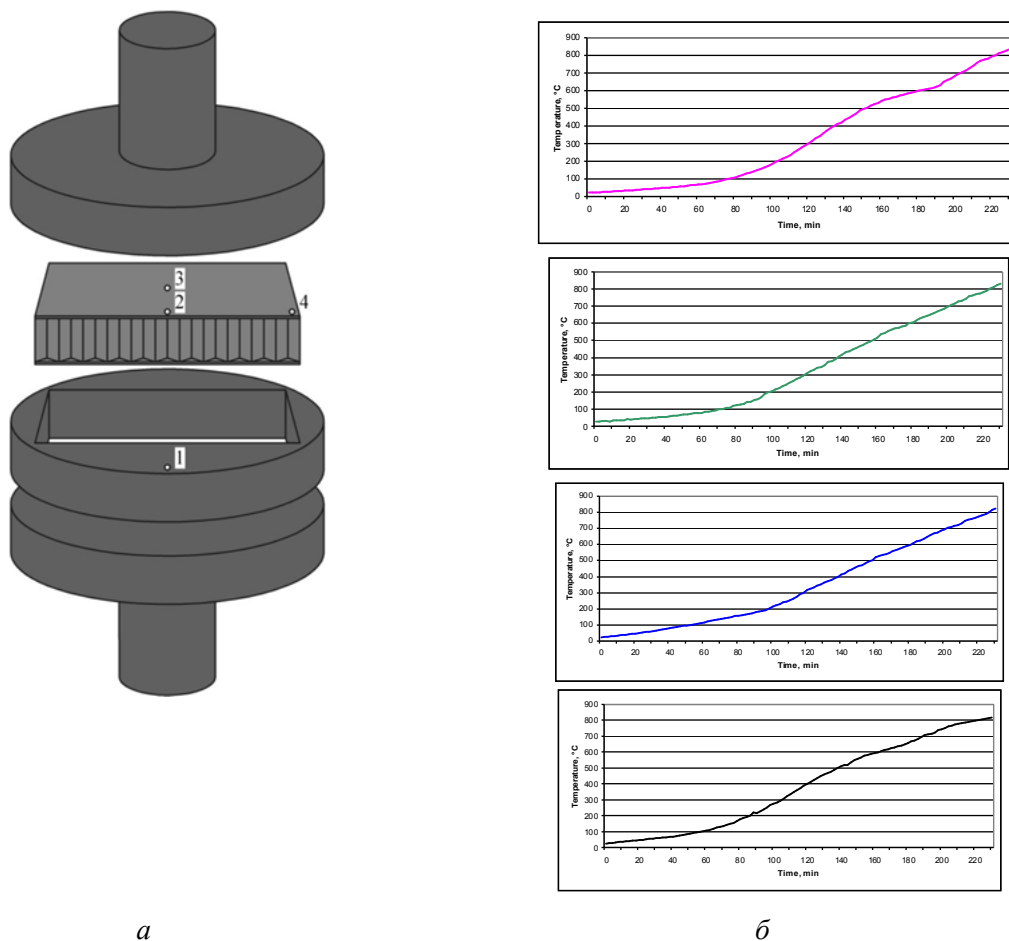


Рис. 8. Схема розташування ТЗП у робочій камері установки (а), точками 1-4 позначено місця фіксації термопар і графіки нагрівання різних ділянок на поверхні ТЗП (б)

Висновки. Проведено аналіз впливу факторів космічного середовища на систему теплового захисту космічних апаратів. Запропоновано нову концепцію моделювання системи СТЗ, яка ґрунтується на таких принципах: синергетичних, фізичних і обчислювальних.

Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для моделювання системи теплового захисту космічних апаратів і розрахунку величини ризику. Отримано залежність величини ризику від факторів космосу. Встановлено, що серед більш ніж 22 факторів, що впливають на стан СТЗ, важливе місце посідає технологія зварювання.

Проведено аналіз умов нагріву ТЗП у процесі дифузійного зварювання у вакуумі. Встановлено, що характер нагрівання залежить від певних факторів, а саме: геометричного – прямокутної форми тришарової панелі, циліндричної форми нагрівачів, висоти панелі та її площі.

Під час нагрівання ТЗП без застосування оснащення в них спостерігається переважний нагрів стільникового заповнювача і кутів кришок відповідно до 900 °C і 800 °C та уповільнений нагрів центральної частини кришок (650 °C). Застосування технологічного оснащення забезпечує більш рівномірне нагрівання всієї панелі.

Робота виконана за підтримки Європейського проекту “Super light-weight thermal protection system for space application (LIGHT-TPS)” № 607182.

Список використаних джерел

1. Johnson S. M. Thermal Protection Materials and Systems: An Overview / S. M. Johnson // Engineered Ceramics: Current Status and Future Prospects. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016. – Pp. 224–243.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Parul Agrawal. Investigation of Performance Envelope for Phenolic Impregnated Carbon Ablator(PICA) / Parul Agrawal, Dinesh Prabhu // 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 4-8 January 2016. – San Diego, California, USA, 2016. – Pp. 1–16.
3. Detailed analysis of species production from the pyrolysis of the Phenolic Impregnated Carbon Ablator / Hsi-Wu Wong, Jay Peck, James Assif [et al.] // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. –2016. – Vol. 122, Issue 11. – Pp. 258–267.
4. Демонис И. М. Материалы ВИАМ в космической технике / И. М. Демонис, А. П. Петрова // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2011. – № 6. – С. 2–9.
5. Авиационно-космические системы : сборник статей / [под ред. Г. Н. Лозино-Лозинского, А. Г. Братухина]. – М. : МАИ, 1997. – 416 с.
6. Элементы (типы) теплозащиты «Бурана» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.buran.ru/htm/tersaf4.htm>.
7. Donald M. Curry. Space Shuttle Orbiter thermal protection system design and flight experience / Donald M. Curry // First ESA/ESTEC Workshop on Thermal Protection Systems, 5-7 May 1993. – Noordwijk, Netherlands, 1993.
8. Pate-Cornell M. E. Safety of the thermal protection system of the space shuttle orbiter: Quantitative analysis and organizational factors. Phase 1: Risk-based priority scale and preliminary observations / M. E. Pate-Cornell, P. S. Fischbeck. – Langle : National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical, 1990. – 110 p.
9. Yatsenko V. Optimization methods in material science: synergetics, dynamical models, and optimization problems / V. Yatsenko // 3rd International Scientific conference «Nonlinear analysis and applications», 15 May 2015. – Kiev, 2015. – P. 79.
10. Superlight-weight thermal protection systems for space applications: conception, methods, and applications / V. Yatsenko, A. Girenko, I. Husarova [et al.] // 6th European Conference for Aeronautic and Space Sciences (EUCAS 2015), 29 June – 3 July 2015. – Krakow, Poland, 2015. – P. 169.
11. Space weather influence on power systems: prediction, risk analysis, and modeling / V. Yatsenko, M. Pardalos, N. Boyko, S. Rebennack // EnergySystems. – 2010. – Vol. 1, № 2. – Pp. 197–207.
12. Мусин Р. А. Соединение металлов с керамическими материалами / Р. А. Мусин, Г. В. Конюшков. – М. : Машиностроение, 1991. – 223 с.

References

1. Johnson, S.M. (2016). Thermal Protection Materials and Systems: An Overview. *Engineered Ceramics: Current Status and Future Prospects*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., pp. 224–243.
2. Parul Agrawal, Dinesh Prabhu (2016). Investigation of Performance Envelope for Phenolic Impregnated Carbon Ablator(PICA). *54th AIAA Aerospace Sciences Meeting* (4-8 January 2016). San Diego, California, USA, pp. 1–16.
3. Hsi-Wu Wong, Jay Peck, James Assif et al. (2016). Detailed analysis of species production from the pyrolysis of the Phenolic Impregnated Carbon Ablator. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 122, issue 11, pp. 258–267.
4. Demonis, I.M., Petrova, A.P. (2011). Materialy VIAM v kosmicheskoi tekhnike [VIAM Materials in Space Technology]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik – All materials. Encyclopedic Guide*, № 6, pp. 2–9 (in Russian).
5. Lozino-Lozinskii, G.N., Bratukhin, A.G. (1997). *Aviatsionno-kosmicheskie sistemy [Aerospace Systems]*. Moscow: MAI (in Russian).
6. *Elementy (tipy) teplozashchity Burana [Elements (types) of thermal protection “Buran”]*. Retrieved from <http://www.buran.ru/htm/tersaf4.htm>.
7. Donald, M. Curry (1993). Curry. Space Shuttle Orbiter thermal protection system design and flight experience. *First ESA/ESTEC Workshop on Thermal Protection Systems* (5-7 May, 1993). Noordwijk, Netherlands.
8. Pate-Cornell, M.E., Fischbeck, P.S. (1990). *Safety of the thermal protection system of the space shuttle orbiter: Quantitative analysis and organizational factors. Phase 1: Risk-based priority scale and preliminary observations*. Langle: National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical.

9. Yatsenko, V. (2015). Optimization methods in material science: synergetics, dynamical models, and optimization problems. *3rd International Scientific conference «Nonlinear analysis and applications»*, 15 May 2015. Kiev, p. 79.
10. Yatsenko, V., Girenko, A., Husarova, I. et al. (2015). Superlight-weight thermal protection systems for space applications: conception, methods, and applications. *6th European Conference for Aeronautic and Space Sciences (EUCAS 2015)*, 29 June – 3 July 2015. Krakow, Poland, p. 169.
11. Yatsenko, V., Pardalos, M., Boyko, N., Rebennack, S. (2010). Space weather influence on power systems: prediction, risk analysis, and modeling. *Energy Systems*, vol. 1, № 2, pp. 197–207.
12. Musin, R.A., Koniushkov, G.V. (1991). *Soedinenie metallov s keramicheskimi materialami [Connection of metals with ceramic materials]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).

Яценко Віталій Олексійович – доктор технічних наук, завідувач відділом, Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України (просп. Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1, м. Київ, 03187, Україна).

Яценко Віталій Алексеевич – доктор технических наук, заведующий отделом, Институт космических исследований НАН Украины та ГКА Украины (просп. Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1, г. Киев, 03187, Украина).

Yatsenko Vitaliy – Doctor of Technical Sciences, Head of Department, Space Research Institute of National Academy of Sciences and State Space Agency of Ukraine (40 Akademika Glushkova Av., build. 4/1, 03187 Kyiv, Ukraine).

E-mail: vyatsenko@gmail.com

Scopus Author ID: 7005914539

Фальченко Юрій Вячеславович – доктор технічних наук, завідувач відділом, Інститут електрозварювання ім. С. О. Патона НАН України (вул. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Фальченко Юрій Вячеславович – доктор технических наук, заведующий отделом, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Малевича, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Falchenko Yuriy – Doctor of Technical Sciences, Head of Department, Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine (11 Malevich Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

E-mail: falchenko@paton.kiev.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3028-2964>

Scopus Author ID: 7801687476

Петрушинець Лідія Вячеславівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут електрозварювання ім. С. О. Патона НАН України (вул. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Петрушинець Лидия Вячеславовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Малевича, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Petrushynets Lidiia – PhD in Technical Sciences, Senior staff scientist, Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine (11 Malevich Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

E-mail: moremia2@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7946-3056>

Клименко Юрій Олександрович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України (просп. Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1, м. Київ, 03187, Україна).

Клименко Юрий Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт космических исследований НАН Украины та ГКА Украины (просп. Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1, г. Киев, 03187, Украина).

Klymenko Yuriy – PhD in Physic-Mathematical Sciences, Senior staff scientist, Space Research Institute of National Academy of Sciences and State Space Agency of Ukraine (40 Akademika Glushkova Av., build. 4/1, 03187 Kyiv, Ukraine).

E-mail: yurklym@gmail.com

Scopus Author ID: 6602335572

Новомлинець Олег Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Новомлинець Олег Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Novomlynets Oleg – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: oon1@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0774-434X>

Scopus Author ID: 6507741249
56938958300

*Олександра Демецька, Ірина Андрусишина, Тетяна Ткаченко,
Анна Лук'яненко, Юрій Полукаров*

НАНОРОЗМІРНІ ФРАКЦІЇ ТВЕРДОЇ СКЛАДОВОЇ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ ЗІ ЗНИЖЕНИМ ВМІСТОМ ХРОМУ (VI)

*Александра Демецкая, Ирина Андрусишина, Татьяна Ткаченко,
Анна Лукьяненко, Юрий Полукаров*

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ФРАКЦИИ ТВЕРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ СО СНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА (VI)

*Oleksandra Demetska, Irina Andrusyshyna, Tetiana Tkachenko,
Anna Lukianenko, Yurii Polukarov*

NANOSIZE FRACTIONS OF THE WELDING AEROSOL HARD COMPONENT THAT EMIT DURING WELDING OPERATIONS USING COATED ELECTRODES WITH REDUCED CHROMIUM (VI) CONTENT

Проведено аналіз нанорозмірних фракцій, що утворюються під час зварювання дослідними електродами з політиєними санітарно-гігієнічними характеристиками, а саме зі зниженим вмістом хрому (VI). Оцінено емісію наночастинок у повітря робочої зони та хімічний склад нанорозмірних фракцій під час зварювання високолегованими марками дослідних електродів з рутиловим видом покриття (п'ять марок) та різним типом зв'язуючого зі зниженим вмістом хрому (VI). Встановлено, що зварювання дослідними електродами супроводжується значною емісією в повітря робочої зони частинок нанодіапазону, що відрізняється динамікою в часі загальної концентрації наночастинок, їх пофракційним розподілом та вмістом нанорозмірних металів. У процесі зварювання всіма дослідними електродами в повітрі робочої зони виявлено нанорозмірні метали: хром, марганець, цинк, залізо, кобальт, мідь, кремній. Дослідні електроди при зварюванні продемонстрували тенденцію щодо зменшення емісії в повітря робочої зони нанорозмірних металів, зокрема, хрому, що кореспондує зі зниженням вмісту цього елемента в їхньому складі.

Ключові слова: нанорозмірні фракції, зварювальні аерозолі, зварювальні електроди, повітря робочої зони, хром (VI).

Табл.: 3. Рис.: 6. Бібл.: 7.

Проанализированы наноразмерные фракции, образующиеся при сварке опытными электродами с улучшенными санитарно-гигиеническими характеристиками, а именно пониженным содержанием хрома (VI). Оценена эмиссия наночастиц в воздухе рабочей зоны и химический состав наноразмерных фракций при сварке высоколегированными марками опытных электродов с рутиловым видом покрытия (пять марок) и разным типом связывающего с пониженным содержанием хрома (VI). Установлено, что сварка опытными электродами сопровождается значительной эмиссией в воздух рабочей зоны частиц нанодиапазона, которая отличается динамикой во времени общей концентрации наночастиц, их пофракционным распределением и содержанием наноразмерных металлов. При сварке всеми опытными электродами в воздухе рабочей зоны выявлены наноразмерные металлы: хром, марганец, цинк, железо, кобальт, медь, кремний. Опытные электроды при сварке продемонстрировали тенденцию к уменьшению эмиссии в воздух рабочей зоны наноразмерных металлов, в частности, хрома, что коррелирует со снижением содержания этого элемента в их составе.

Ключевые слова: наноразмерные фракции, сварочные аэрозоли, сварочные электроды, воздуха рабочей зоны, хром (VI).

Табл.: 3. Рис.: 6. Библ.: 7.

The paper is aimed to the analysis of nanosize fractions that emit during welding operations using the test electrodes with improved sanitary and hygienic characteristics, specifically with reduced chromium (VI) content. An emission of nanoparticles to the air of working zone as well as chemical composition of nanosize fractions during welding operations with superalloyed classifications of test electrodes with rutile coating (five classifications) and various types of binding agent with reduced chromium (VI) content were assessed. It was found that welding using test electrodes with improved sanitary and hygienic characteristics is followed by significant emission to the air of working zone of nanosize particles that differs in the concentration-time dynamics, size distribution, and content of nanosize metals. During welding with all test electrodes nanosize metals, such as chromium, manganese, zinc, iron, cobalt, cuprum, silicon, were found in the air of working zone. Test electrodes during welding shown reduced emission of nanosize metals, including chromium, and that corresponds to reduction of this element content in their composition.

Key words: nanoscale fraction, welding aerosols, welding electrodes, a working zone air, chromium (VI).

Tab.: 3. Pic.: 6. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Незважаючи на те, що промислові аерозолі як професійна шкідливість вивчаються досить давно, дотепер не вирішено багато питань щодо залежності їх-

ної біологічної агресивності від основних фізико-хімічних властивостей. До останніх можна віднести дисперсність частинок, зокрема, нанорозмірних фракцій твердої складової зварювальних аерозолів (ТСЗА), їхні структурні параметри, розчинність окремих сполук [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що емісією наночастинок у повітря робочої зони можуть супроводжуватися як виробничі процеси, кінцевим продуктом яких є наноматеріали (електронно-променевий синтез у вакуумі, механосинтез, хімічний синтез), так і процеси, що безпосередньо не пов'язані з нанотехнологіями, зокрема, електрозварювання [2]. При цьому останніми роками накопичено достатньо експериментальних даних, які свідчать на користь того, що речовинам у нанодіапазоні притаманна більш висока біологічна активність і пошкоджуюча дія [3; 4; 5].

У межах програм нанобезпеки у провідних європейських країнах та США основну увагу приділяють наноматеріалам (тобто створеним за допомогою нанотехнологій), при цьому певна увага приділяється розумінню елімінації металів зі зварювальних аерозолів та дослідженням впливу їх на людину, контролю за умовами праці. Є поодинокі дослідження західних науковців щодо нанорозмірних фракцій ТСЗА саме з позицій нанобезпеки, тобто дослідження їх депонування у респіраторному тракті зварників за допомогою використання індивідуальних пробовідбірників. Зокрема, встановлено, що під час зварювання нержавіючих сталей пробовідбірник затримує 59 % від загального марганцю та 90 % від загального хрому. Тобто ці результати свідчать на користь того, що переважна більшість хрому та більше половини від загальної кількості марганцю в ЗА існують у вигляді фракцій менше ніж 300 нм (саме такою є розподільна здатність пробовідбірників, що використовувались) [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Разом з тим ці дослідження, по-перше, стосуються переважно серійно виготовлених зварювальних електродів; по-друге, навіть у процесі дослідження нанорозмірних фракцій ТСЗА певною мірою не використовуються підходи, що сьогодні є притаманними під час дослідження наноматеріалів, отриманих за допомогою нанотехнологій. Натомість їх використання може сприяти поглибленому розумінню процесів, що відбуваються під час виробничих процесів, зокрема, у процесі зварювання як у повітрі робочої зони, так і в біологічних об'єктах. Також слід зауважити, що дані стосовно особливостей біологічної дії нанорозмірних фракцій промислових аерозолів, а також кількісного розподілу та динаміки існування в повітрі робочої зони відсутні.

Отже, **мета дослідження** полягала в аналізі нанорозмірних фракцій, що утворюються під час зварювання покритими електродами зі зниженим вмістом хрому (VI).

Виклад основного матеріалу. З метою оцінки емісії наночастинок у повітря робочої зони під час зварювання високолегованими марками дослідних електродів з рутиловим видом покриття (п'ять марок) та різним типом зв'язуючого зі зниженим вмістом хрому (VI), а також серійним електродом Cristal з рутиловим видом покриття (табл. 1), використовували дифузійний аерозольний спектрометр ДАС 2702, «АероНаноТех», Росія.

Таблиця 1

Гігієнічна характеристика зварювальних електродів

Позначення електрода	Тип зв'язуючого	Масова частка основних компонентів ЗА, %					
		Cr ⁶⁺	Cr ³⁺	Ni	Mn	F _p ⁻	F _n ⁻
Cristal	–*	0,9	0,71	0,74	10,33	14,31	2,61
14-25	K-Na	1,96	2,62	1,47	4,81	11,68	1,30
14-26	K-Na-Li	1,77	2,67	1,38	5,27	10,24	1,69
14-27	K-Na	1,44	2,82	1,29	5,69	10,35	1,88
14-30	Na-Li	0,89	3,04	1,62	5,73	11,65	1,34
14-32	Li	не виявл.	3,91	1,39	5,20	5,76	1,56

*невідомі дані.

Для дослідження масової концентрації зважених частинок і концентрації хімічних речовин повітря з об'ємною витратою 0,5 л/хв аспірували за допомогою пробовідбір-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ника ТАЙФУН Р-20-2 через поглинач Зайцева, що містить 10 мл деіонізованої води. Відібрану пробу відфільтровували за допомогою шприца, до якого приєднаний фільтротримач із мембранним дисковим фільтром "Domnick Hunter" (Англія) діаметром 25 мм і розміром пор 100 нм.

Хімічний склад проб повітря вивчали методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (АЕС-ІЗП), за допомогою приладу «Optima 2100 DV» («Perkin-Elmer», США).

Розрахунок орієнтовно безпечних рівнів впливу (ОБРВ) для хімічних речовин у нормозмірному стані здійснювали за допомогою коефіцієнтів, рекомендованих Британським Інститутом Стандартів [7].

Отримані результати досліджень статистично обробляли методами варіаційної статистики з використанням пакету програм Microsoft Excel.

Було досліджено емісію в повітря робочої зони наночастинок під час зварювання дослідними (14-25, 14-26, 14-27, 14-30, 14-32) та серійним електродом Cristal у зварювально-затравлювальному комплексі ДУ «Інституту медицини праці НАМН». Найменша емісія частинок від 1 до 100 нм одразу після зварювання спостерігалась у разі використання електроду 14-25, що становила 16 994 частинок/см³, а найбільша – у випадку використання електроду Cristal – 264 854 частинок/см³ (табл. 2).

Як видно з таблиці 2, найбільшою емісією наночастинок у повітря робочої зони характеризуються такі електроди, як 14-27, 14-30, 14-32 та Cristal.

Таблиця 2

Динаміка концентрації наночастинок у повітрі робочої зони під час зварювання дослідними та серійними електродами, частинок/см³

Електрод	Фон	1 хв	Приріст концентрації	5 хв	10 хв	20 хв	30 хв
14-25	23 102	40 096	16 994	88 785	57 973	65 549	70 998
14-26	32 325	95 501	63 176	60 468	43 250	54 841	65 326
14-27	24 485	217 373	192 888	99 923	80 190	40 839	70 138
14-30	32 102	235 508	203 406	82 696	85 331	65 261	65 225
14-32	26 896	268 305	241 409	109 600	60 650	81 696	43 033
Cristal	32 969	297 823	264 854	87 425	58 303	73 789	31 936

Також слід зазначити, що дослідний електрод 14-25 попри найменшу емісію наночастинок характеризувався найгіршою якістю зварного шва та через 30 хв після зварювання загальна концентрація наночастинок у повітрі робочої зони була максимальною серед такої ж у дослідних електродах та більшою, ніж після зварювання Cristal. Через 30 хв після зварювання найменші значення загальної концентрації наночастинок були зафіксовані для Cristal та 14-32 (31 936 та 43 033 відповідно частинок/см³), які до того ж характеризувалися найкращим зварним швом. Що стосується пофракційного розподілу частинок нанодіапазону протягом 30–60 хв після зварювання (рис. 1–5), то по всіх досліджуваних електродах (як серійних, так і дослідних) спостерігається така тенденція: у перші хвилини після зварювання кількість частинок розміром 15–20 нм є максимальною та домінуючою над іншими фракціями (при цьому представники фракцій 0–5 нм, 5–10 нм, 10–15 нм переважно відсутні).

Однак вже через 5 хв їх кількість стрімко зменшується, навіть за умов сталої загальної концентрації частинок у діапазоні 0–100 нм, у повітрі робочої зони більш-менш рівномірно представлені всі фракції з розмірами, що перевищують 20 нм (рис. 1–5). Винятком є дослідний електрод 14-25, після зварювання яким протягом 60 хв у повітрі робочої зони спостерігались високі концентрації наночастинок розміром 15–20 нм (рис. 6).

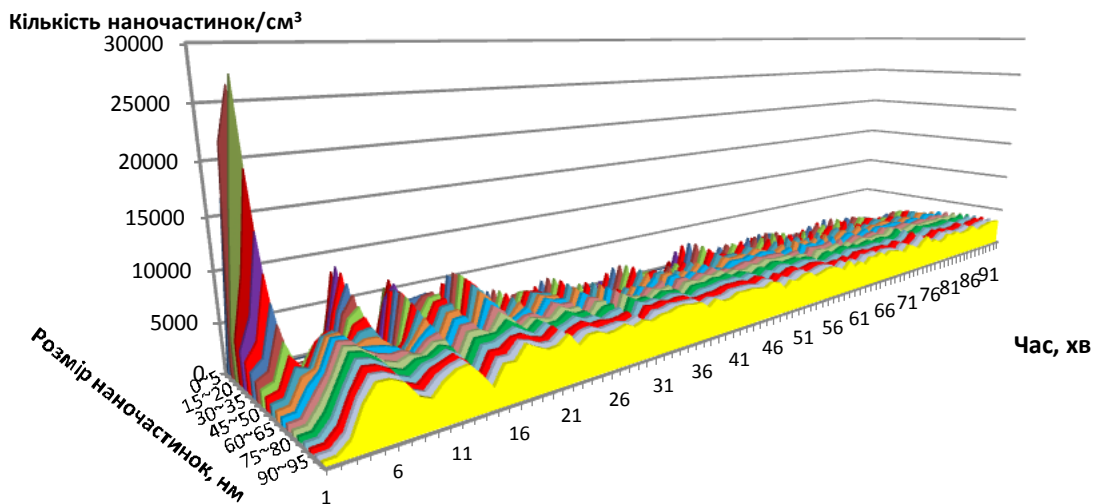


Рис. 1. Пофракційний розподіл частинок 1-100 нм у повітрі робочої зони у разі використання електрода 14-26

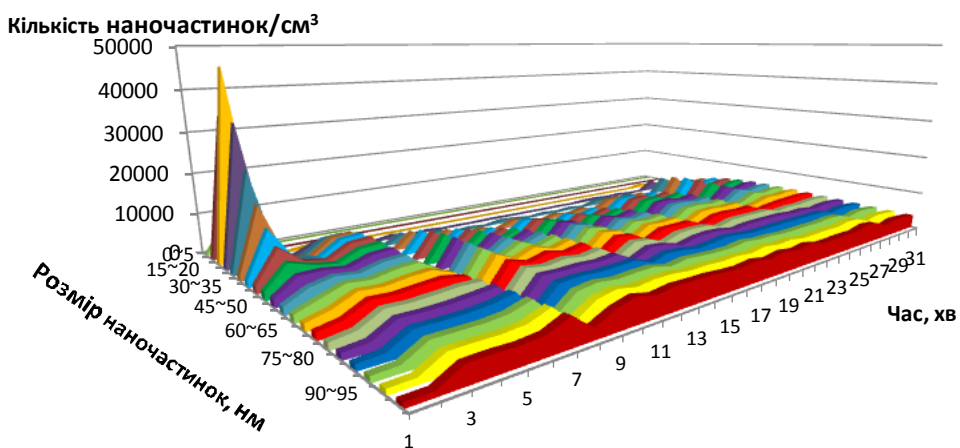


Рис. 2. Пофракційний розподіл частинок 1-100 нм у повітрі робочої зони у разі використання електрода 14-27

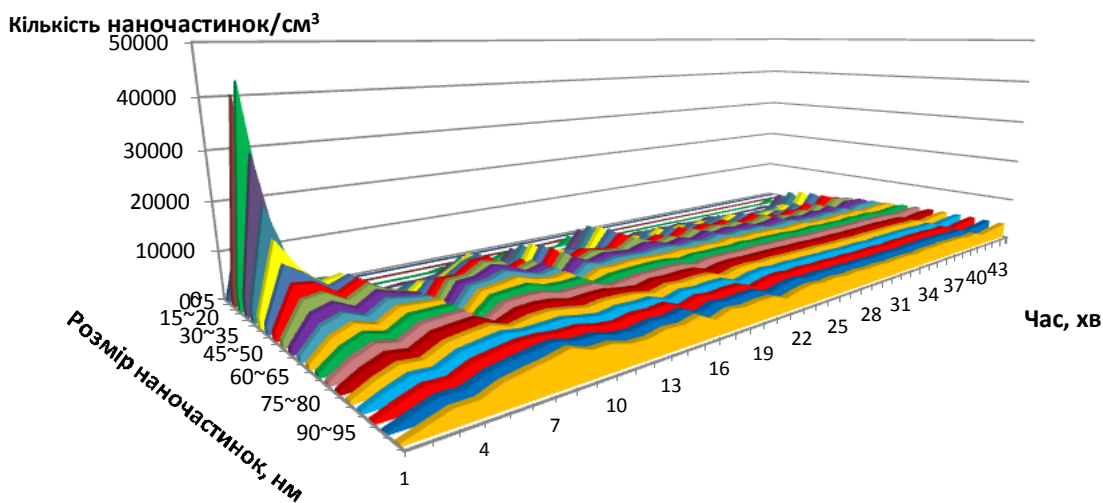


Рис. 3. Пофракційний розподіл частинок 1-100 нм у повітрі робочої зони у разі використання електрода 14-30

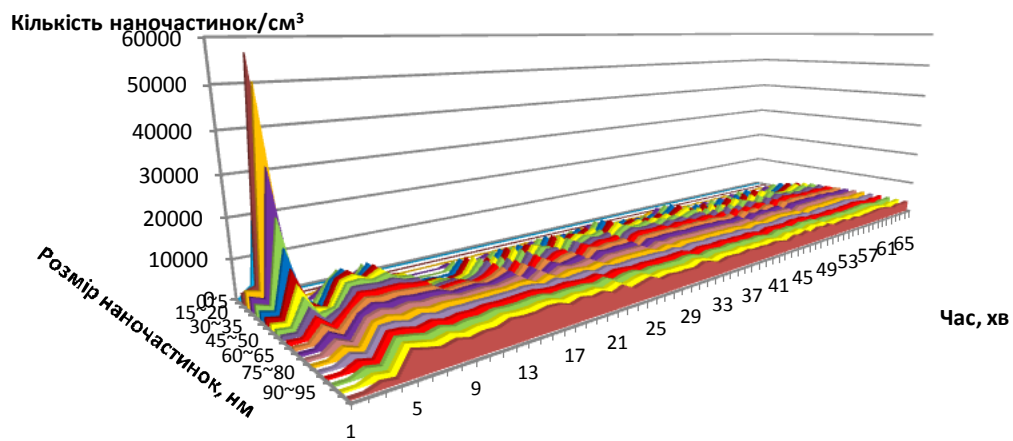


Рис. 4. Пофракційний розподіл частинок 1-100 нм у повітрі робочої зони у разі використання електрода 14-32

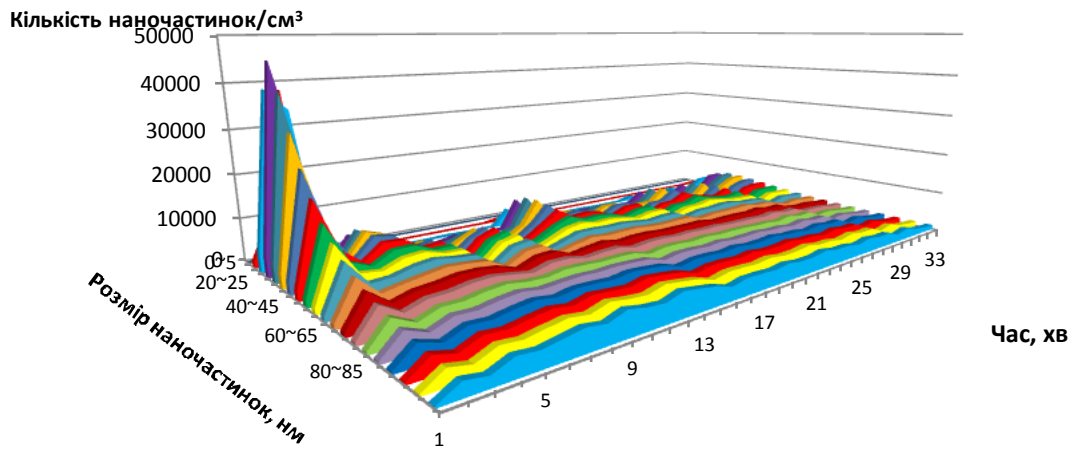


Рис. 5. Пофракційний розподіл частинок 1-100 нм у повітрі робочої зони у разі використання електрода Cristal

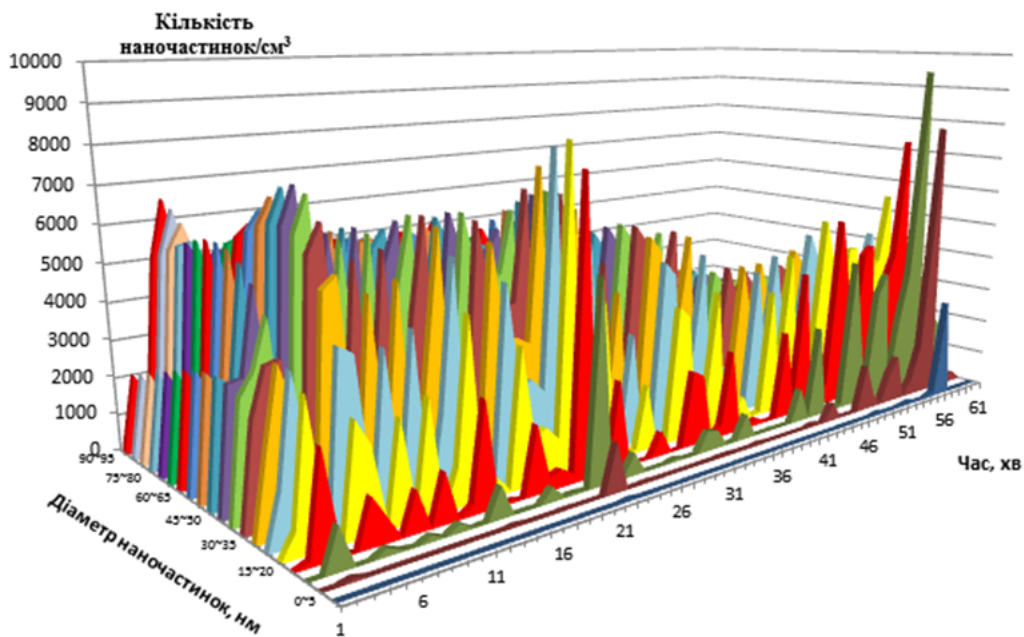


Рис. 6. Пофракційний розподіл частинок 1-100 нм у повітрі робочої зони у разі використання електрода 14-25

Також було проаналізовано проби повітря, відібрані під час зварювання дослідними електродами щодо вмісту нанорозмірних металів (табл. 3).

Зварювання електродом 14-25 супроводжується емісією в повітря робочої зони нанорозмірного цинку і кількостях, що перевищують орієнтовно безпечний рівень впливу для наноматеріалів у 1,86 разу, та хрому – у 1,4 разу (табл. 3).

Таблиця 3

Концентрація нанорозмірних металів (мг/м³) у пробах повітря під час зварювання дослідними електродами

Метали, мг/м ³	14-25	14-26	14-27	14-30	14-32	Cristal	ОБРВ, мг/м ³
Mn	0,0007	0,0003	-	-	-	-	0,01
Zn	0,093	0,073	0,0002	0,0005	0,00051	0,00002	0,05
Fe	0,003	-	-	-	-	-	0,6
Co	0,0003	-	-	-	-	-	0,05
Cu	0,0011	0,0001	-	-	-	-	0,1
Cr	0,0014	-	-	-	-	0,000001	0,001
Si	0,003	0,023	-	-	-	-	0,1

У свою чергу, зварювання іншими дослідним електродами супроводжується дуже незначною емісією в повітря робочої зони нанорозмірних металів у кількостях, що не перевищують розраховані ОБРВ для наноматеріалів у повітрі робочої зони.

Висновки і пропозиції. Встановлено, що зварювання дослідними електродами з поліпшеними санітарно-гігієнічними характеристиками супроводжується значною емісією в повітря робочої зони частинок нанодіапазону, що відрізняється як динамікою в часі загальної концентрації наночастинок та їх пофракційним розподілом, так і вмістом нанорозмірних металів.

Дослідні електроди під час зварювання продемонстрували тенденцію щодо зменшення емісії в повітря робочої зони нанорозмірних металів, зокрема, хрому та марганцю, що кореспондує зі зниженням вмісту цих елементів у їхньому складі.

Список використаних джерел

- Berlinger B. Physicochemical characterisation of different welding aerosols / Berlinger B., Benker N., Weinbruch S., L'Vov B., Ebert M., Koch W., Ellingsen D. G., Thomassen Y. // *Anal Bioanal Chemistry*. 2011, Feb;399(5):1773-80.
- Pietroiusti A, Magrini A. Engineered nanoparticles at the workplace: current knowledge about workers' risk // *Occup Med (Lond)*. 2014, 64(5):319-330.
- Oberdörster G. Safety assessment for nanotechnology and nanomedicine: concepts of nanotoxicology// *J Intern Med*. 2010 Jan;267(1):89-105.
- Elder A. Translocation of Inhaled Ultrafine Manganese Oxide Particles to the Central Nervous System / A. Elder, R. Gelein, V. Silva // *Environmental Health Perspectives*. 2006, Aug; 114(8): 1172–1178.
- Cena LG, Chisholm WP, Keane MJ, Chen BT. A Field Study on the Respiratory Deposition of the Nano-Sized Fraction of Mild and Stainless Steel Welding Fume Metals // *J Occup Environ Hyg*. 2015, 12(10): 721–728.
- Antonini JM, Roberts JR, Stone S, Chen BT, Schwegler-Berry D, Chapman R, Zeidler-Erdely PC, Andrews RN, Frazer DG. Persistence of deposited metals in the lungs after stainless steel and mild steel welding fume inhalation in rats//*Arch Toxicol*. 2011 May;85(5):487-98.
- BSI-British Standards, Nanotechnologies — Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. PD 6699-2: 2007, BSI 2007. December 2007.

References

- Berlinger, B., Benker, N., Weinbruch, S., L'Vov, B., Ebert, M., Koch, W., Ellingsen, D.G., Thomassen, Y. (2011). Physicochemical characterisation of different welding aerosols. *Anal Bioanal Chemistry*. Feb; 399 (5): 1773-80. doi: 10.1007/s00216-010-4185-7.
- Pietroiusti, A, Magrini, A. (2014). Engineered nanoparticles at the workplace: current knowledge about workers' risk. *Occup Med (Lond)*; 64(5):319-330. doi: 10.1093/occmed/kqu051.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Oberdörster, G. (2010). Safety assessment for nanotechnology and nanomedicine: concepts of nanotoxicology. *J Intern Med.* Jan; 267 (1):89-105. doi: 10.1111/j.1365-2796.2009.02187.x.
4. Elder, A., Gelein, R., Silva, V. (2006). Translocation of Inhaled Ultrafine Manganese Oxide Particles to the Central Nervous System. *Environmental Health Perspectives.* Aug; 114 (8): 1172-1178. doi: 10.1289/ehp.9030.
5. Cena, L.G., Chisholm, W.P., Keane, M.J., Chen, B.T. (2015). A Field Study on the Respiratory Deposition of the Nano-Sized Fraction of Mild and Stainless Steel Welding Fume Metals. *J Occup Environ Hyg.*; 12 (10): 7217-728. doi: 10.1080/15459624.2015.1043055.
6. Antonini, J.M., Roberts, J.R., Stone, S., Chen, B.T., Schwegler-Berry, D., Chapman, R., Zeidler-Erdely, P.C., Andrews, R.N., Frazer, D.G. (2011). Persistence of deposited metals in the lungs after stainless steel and mild steel welding fume inhalation in rats. *Arch Toxicol.* May; 85 (5): 487-98. doi: 10.1007/s00204-010-0601-1.
7. Nanotechnologies - Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. BSI-British Standards. PD 6699-2: 2007, BSI 2007. December 2007.

Демецька Олександра Віталіївна – кандидат біологічних наук, завідувача лабораторією токсикології аерозолів та гігієни праці в зварювальному виробництві, ДУ «Інститут медицини праці НАМН» (вул. Саксаганського, 75, м. Київ, 01033, Україна).

Демецкая Александра Витальевна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией токсикологии аэрозолей и гигиены труда в сварочном производстве, ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины» (ул. Саксаганского, 75, г. Киев, 01033, Украина).

Demetska Oleksandra – PhD in Biological Sciences, Head of Laboratory of aerosol toxicology and occupational health in welding production, SI “Institute For Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine” (75, Saksahansky Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

E-mail: dalexandra@ukr.net

Андрусишина Ірина Миколаївна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії аналітичної хімії та моніторингу токсичних речовин, ДУ «Інститут медицини праці НАМН України» (вул. Саксаганського, 75, м. Київ, 01033, Україна).

Андрусишина Ирина Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории аналитической химии и мониторинга токсичных веществ, ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины» (ул. Саксаганского, 75, г. Киев, 01033, Украина).

Andrusyshyna Irina – PhD in Biological Sciences, senior collaborator of the Laboratory of Analytical Chemistry and the monitoring of toxic substances, SI “Institute For Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine” (75, Saksahansky Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

E-mail: irina_andrei@voliacable.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5827-3384>

ResearcherID: 1123-2016

Ткаченко Тетяна Юрійвна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії токсикології аерозолів та гігієни праці в зварювальному виробництві, ДУ "Інститут медицини праці НАМН України" (вул. Саксаганського, 75, м. Київ, 01033, Україна).

Ткаченко Татьяна Юрьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории токсикологии аэрозолей и гигиены труда в сварочном производстве, ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины» (ул. Саксаганского, 75, г. Киев, 01033, Украина).

Tkachenko Tetiana – PhD in Biological Sciences, senior collaborator of the Laboratory of aerosol toxicology and occupational health in welding production, SI “Institute For Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine” (75, Saksahansky Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

E-mail: tanya.tkachenko@gmail.com

Лук'яненко Анна Олегівна – кандидат технічних наук, завідувач відділу Проблем охорони праці та екології у зварювальному виробництві, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Лукьяненко Анна Олеговна – кандидат технических наук, заведующая отделом Проблем охраны труда и экологии в сварочном производстве, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Казимира Малевича, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Lukianenko Anna – PhD in Technical Sciences, Head of Department of Problems of occupational health and the environment in the welding industry, E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine (11 Kazimir Malevich Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

E-mail: a.lukianenko@ukr.net

ResearcherID: C-7823-2016

Полукаров Юрій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці, промислової та цивільної безпеки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Полукаров Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда, промышленной и гражданской безопасности, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Polukarov Yuri – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Labour Safety, Industrial and Civil Defense, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: polukarov@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6261-3991>

ResearcherID: D-5714-2017

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 504.055(477-25)(043.2)

Віталій Зацерковний, Наталія Руть, Людмила Плічко, Сергій Кривоберець

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ

Виталий Зацерковный, Наталья Руть, Людмила Пличко, Сергей Кривоберец

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПО СОЗДАНИЮ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

Vitalii Zatserkovnyi, Natalia Rul, Liudmyla Plichko, Serhiy Kryvoberets

ANALYSIS OF THE APPROACHES FOR CREATING DIGITAL ELEVATION MODELS

Рельєф є одним з найважливіших елементів змісту будь-якої карти, яка визначає особливості ландшафту. Розглянуто наявні моделі та методи побудови цифрових моделей рельєфу (ЦМР) з метою їх порівняльного аналізу на основі комплексування відкритих, загальнодоступних джерел інформації. Наведено підходи побудови цифрових моделей рельєфу та розглянуто інформаційне забезпечення для їх створення.

Продемонстровано можливість використання різних джерел даних, призначених для створення ЦМР: для моделювання задач землеустрою, моделювання гідрологічної мережі, аналізу зони покриття радіочастотних вишок, моделювання задач будівництва, моделювання зон затоплення внаслідок повеней та паводків. За рахунок удосконалення ЦМР можливе вироблення нових підходів для їх створення або інтеграція наявних.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу (ЦМР), інтерполяція, інтерполяційні методи, TIN-модель, кригінг, SRTM, топо в растр.

Рис.: 12. Бібл.: 11.

Рельєф является одним из важнейших элементов содержания любой карты, которая определяет особенности ландшафта. Рассмотрены имеющиеся модели и методы построения цифровых моделей рельефа (ЦМР) с целью их сравнительного анализа на основе комплексирования открытых, общедоступных источников информации. Приведены подходы построения цифровых моделей рельефа и рассмотрено информационное обеспечение для их создания.

Продемонстрирована возможность использования различных источников данных, предназначенных для создания ЦМР: для моделирования задач землеустройства, моделирование гидрологической сети, анализа зоны покрытия радиочастотных вышек, моделирования задач строительства, моделирование зон затопления в результате наводнений и паводков. За счет совершенствования ЦМР возможна разработка новых подходов для их создания или интеграция имеющихся.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа (ЦМР), интерполяция, интерполяционные методы, TIN-модель, криггинг, SRTM, топо в растр.

Рис.: 12. Библ.: 11.

Relief is one of the most important elements of the content of any map that defines the features of the landscape. Considered existing models and methods of construction digital elevation models (DEM) for the purpose of comparative analysis based on the integration of open, public sources of information. Provided approaches of digital elevation models and considered information support for their creation.

Demonstrated possibility of using different data sources intended for creating DEM: for modeling problems of land management, modeling hydrological network, analysis of coverage of radio frequency towers, construction modeling tasks, modeling flood zones due to floods and floods. Due to the perfection of DEM may develop new approaches for their creation or integration available.

Key words: digital terrain model, digital elevation model, DEM; interpolation, interpolation methods; TIN-model, kriging, SRTM, a raster topo.

Fig.: 12. Bibl.: 11.

Постановка проблеми. Рельєф є одним з найважливіших елементів змісту будь-якої карти, що визначає всі особливості ландшафту. Характер рельєфу враховується у процесі освоєння та заселення території, розвитку транспорту, промисловості, сільського господарства і будівництва, вибору місця для населених пунктів, бойових дій (визначення можливостей відкритого пересування, маскуванню, умов прохідності, невидимості). Рельєф впливає на розподіл тепла й вологи, міграцію хімічних елементів, формування поверхневого та підземного стоку, річкової мережі, рослинного покриву, ґрунтів, ландшафтів тощо.

З того часу, як з'явилися перші карти, перед картографами постала нетривіальна проблема відображення тривимірного рельєфу на двовимірній карті.

Вся історія дослідження рельєфу – це історія створення його картографічних моделей, які постійно наближаються до дійсності.

Одним із перших способів відображення рельєфу стали перспективні знаки, що показують гори і пагорби. Перспективний (картинний) спосіб зображення рельєфу широко застосовувався до середини XVIII століття, але він не дозволяв визначати по карті крутизну схилів і виражати всі характерні деталі рельєфу, особливо на рівнинній місцевості.

Однак починаючи з XVIII ст. почалася активна розробка нових, все більш складних способів відображення рельєфу [1].

Перші експерименти зі створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР), що відносяться до першого етапу розвитку геоінформатики [1], одразу ж засвідчили, що вони є унікальним інструментом для аналізу різноманітних антропогенних об'єктів і природних процесів і явищ.

Виділення раніше не вирішених частин загальної проблеми. Оскільки рельєф земної поверхні зазнає інтенсивних змін під впливом як природних, так і антропогенних чинників, то актуальним є завдання швидкого корегування і відображення цих змін у ЦМР з найменшими фінансовими і часовими витратами. Для цього потрібно провести огляд наявних моделей створення ЦМР з метою їх порівняння і визначення оптимальності їх використання.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Одним з напрямків розвитку сучасних геоінформаційних систем (ГІС) є автоматизація процесів отримання ЦМР. Дослідженням рельєфу місцевості і розробкою алгоритмів створення ЦМР займалися Х. В. Бурштинська, І. В. Городинський, О. Л. Дорожинський, А. В. Костін, О. М. Ласточкін, Р. М. Рудий, А. І. Хромченко, І. Г. Черваньов, В. В. Хромих, О. В. Хромих, Poul Frederiksen, Ole Jacobi, Kurt Kubik та інші. Ними розроблені методику побудови ЦМР та різні способи створення 3D-моделей.

Визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба відзначити, що проблема оцінювання можливостей цих алгоритмів щодо точності і швидкодії ще далека від свого завершення і потребує глибокого системного опрацювання.

Метою статті є завдання проведення порівняльного аналізу існуючих методик побудови максимально коректних ЦМР на основі комплексування відкритих, загальнодоступних джерел інформації, до яких передусім відносяться супутникові дані – AsterGDEM (Global Digital Elevation Model) та SRTM (Shuttle radar topographic mission); топографічні карти масштабу 1:200000, 1:100000.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні тривимірне подання рельєфу засобами сучасних геоінформаційних технологій (ГІТ) є одним із напрямків у геоінформатиці при ситуаційному моделюванні (тренажери, командні навчання тощо), аналізі проектів і рішень (дорожнє будівництво та архітектура), розвитку транспортної й інженерної інфраструктури, у промисловості і сільському господарстві, моніторингу надзвичайних ситуацій, у моделюванні родовищ корисних копалин, як засіб найбільш ефективної просторової організації різночасових даних, для виконання аналітичних розрахунків і як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень, який дуже швидко розвивається.

Оперування тривимірними просторовими даними є необхідним у геології, архітектурі, містобудівництві тощо. Велике значення ЦМР відіграють у задачах розрахунку режимів роботи інженерних мереж, аераційної обстановки, визначення забруднення територій, прогнозування затоплення територій тощо. Ці задачі потребують як визначення висот точок місцевості, так і побудови на поверхні досліджуваної ділянки території спеціальних розрахункових елементів для реалізації алгоритмів обчислювальної гідроаеромеханіки.

Сукупність задач, що можуть розв'язуватись за допомогою ЦМР, представлено на рис. 1.

Це зумовлено тим, що для більшості задач інформаційні потреби про місцевість тільки за рахунок використання двовимірних карт в аналоговому і цифровому видах вже не можуть вважатись вичерпними.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Під цифровою моделлю геооб'єкта розуміють певну форму подання вихідних даних і спосіб їх структурного опису, яка дозволяє обчислити (відновити) об'єкт за допомогою інтерполяції, апроксимації або екстраполяції [2]. Визначальним у назві «цифрова модель» є те, що вона сформована у цифровому коді, який сприймає комп'ютер.

Тривимірна модель населеного пункту є системою багатьох елементів: моделі земної поверхні (цифрової моделі рельєфу), моделі наземних об'єктів (об'єктів нерухомості), моделі надр (геологічні моделі) тощо.

ЦМР повинна дозволяти розв'язувати метричні і позиційні задачі та визначати спеціальні геометричні параметри (нормаль, дотичні, лінії рівня та найбільшого нахилу, найвищу та найнижчу точки тощо). До метричних належать задачі визначення величин відстаней, кутів, площ і об'ємів.

Сьогодні існує певна термінологічна неоднозначність в англійських назвах продукції, що містить висотне подання земної поверхні, зокрема за цифровими моделями поверхні (ЦМП) та цифровими моделями рельєфу (ЦМР). Англійськими аналогами понять ЦМП та ЦМР прийнято вважати DSM (Digital Surface Model) та DTM (Digital Terrain Model).

DSM – цифрова модель місцевості (ЦММ), що відображає природний рельєф місцевості з рослинністю та різноманітними штучними перешкодами (будинками, деревами тощо), також відредаговані на моделі водні об'єкти, присвоєні їм однакові значення висоти тощо (рис. 2).

DTM – точного визначення для цієї моделі не існує, але часто трактується як аналогія ЦМР.

DEM – цифрова модель рельєфу (ЦМР), що відображає природний рельєф місцевості.

Перша модель включає в себе висоти всіх точок на земній поверхні, а друга – висоти рельєфу або, як доповнення, висоти окремих об'єктів місцевості. Одночасно і перша, і друга моделі є DEM (Digital Elevation Model).

Крім того, на думку деяких авторів, наприклад [3], термін «цифрова модель» взагалі є калькою англійського digital model і не є дуже вдалим, оскільки не відображує реалії моделювання. Цікаво, що в болгарській науковій літературі використовується термін «чисельна модель рельєфу», замість нашого «цифрова модель рельєфу» і англійського digital elevation model. Такий переклад вдало передає зміст, хоча й викликає певні асоціації з деякими термінами прикладної математики (чисельний аналіз, чисельні методи тощо). Однак, незважаючи на це, термін «цифрові моделі» широко вживається в науковій літературі, тому недоцільно від нього відмовлятися.

Оскільки рівень вимог щодо точності цифрового опису рельєфу, як системоутворюючого фактора місцевості, багато в чому визначається типом наукової або інженерно-технологічної задачі, методами її розв'язання, вартістю, наявним програмним забезпеченням, то перед споживачем стоїть завдання вибору джерел даних, які багато в чому визначають розрізнення моделі й алгоритмами створення ЦМР.

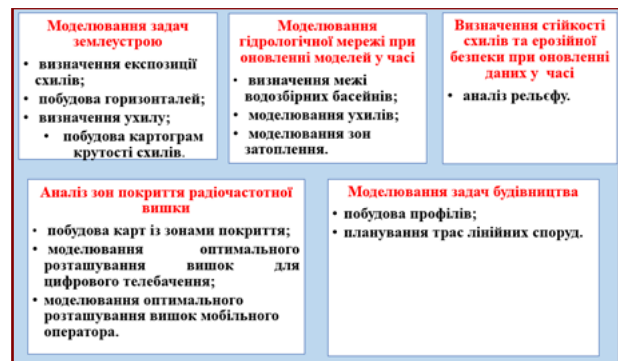


Рис. 1. Сукупність задач, що можуть розв'язуватись за допомогою ЦМР

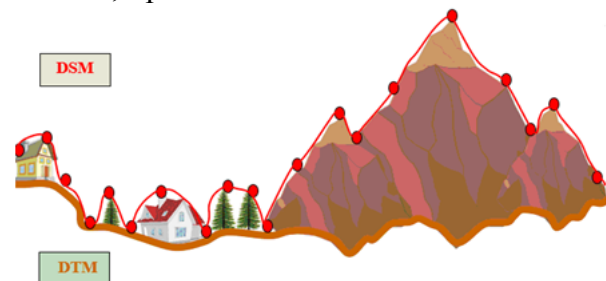


Рис. 2. Основні види висотної інформації

Джерелами даних для створення ЦМР можуть слугувати дані ДЗЗ, аерофотознімки, фотограмметричні виміри, дані систем супутникового позиціонування, наземні геодезичні зйомки, дані промірних робіт і ехолотування, лазерного сканування місцевості, картографічні дані тощо.

Висока швидкість проведення вимірів і ефективність зйомки забудованих площ, таких як міські території надують повітряному лазерному скануванню низку переваг порівняно з іншими видами побудови ЦМР. Отриманий у результаті 3D масив точок високої щільності і точності фактично є цифровою моделлю рельєфу, яка може бути основою для ортофотопланів, цифрових топографічних планів масштабів 1:500 і дрібніше, тривимірних моделей рельєфу й об'єктів місцевості.



Рис. 3. Основні види висотної інформації [4]

Створити цифрову карту з висотними відмітками (ЦМР) можна і на основі фотограмметричних способів [5].

Застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і фотограмметрії, де існує велика кількість напрацьованих і перевірених методик дозволяють створювати досить точні і достовірні цифрові моделі місцевості, точність результатів яких є переконливою. Проте використання матеріалів ДЗЗ передбачає велику кількість контрольних вимірів, застосування спеціалізованого сертифікованого програмного забезпечення.

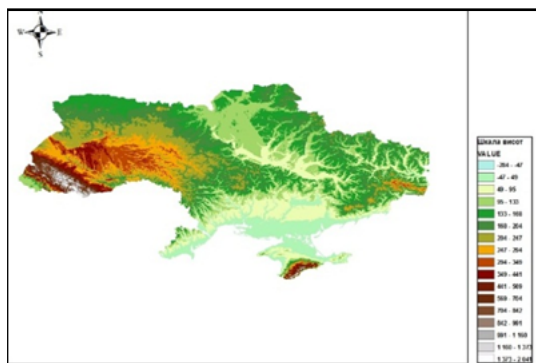


Рис. 4. Карта рельєфу України, отримана за допомогою SRTM

їни дані SRTM та ASTER GDEM забезпечують точність по висоті 3-8 метрів. Продемонстровано можливість їх використання для моделювання задач землеустрою (визначення експозиції схилів, побудови горизонталей, побудови ухилів), моделювання гідрологічної мережі (моделювання водотоків та визначення межі водозбірних басейнів), аналізу зони покриття радіочастотних вишок (побудова карт із зонами покриття, вибору оптимального розташування вишок мобільних операторів та вишок цифрового телебачення), моделювання задач будівництва (планування попередніх трас лінійних споруд – дорожньої мережі, трубопроводів тощо), моделювання зон затоплення внаслідок

Оцінка вартості ЦМР залежно від джерела даних і розрізнення моделі представлена на рис. 3 [4].

Цифрову модель рельєфу для великих територій можна отримати різними способами, зокрема за допомогою радіометричного знімання місцевості, яке було зроблене на всю територію поверхні Землі (крім полюсів) радаром, запущеним у космос за допомогою космічного корабля Shuttle американським космічним агентством NASA – CGIAR.

На сьогодні популярним є створення ЦМР на основі ДЗЗ та SRTM. SRTM (Shuttle radar topographic mission) – міжнародна місія з отримання даних цифрової моделі рельєфу території Землі (рис. 4).

У результаті цієї міжнародної програми були отримані топографічні дані для бази даних Землі у майже глобальному масштабі від 56° південної широти до 60° північної широти [6].

Можливість використання SRTM та ASTER GDEM для території України досліджена у праці [7], де зазначено, що для території Укра-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

повеней та паводків. Список розглянутих задач, де можуть використовуватися глобальні ЦМР не є вичерпним і він потребує подальшого розширення й аналізу.

Тією чи іншою мірою глобальні ЦМР можуть забезпечити розв'язання поставлених задач, навіть без залучення додаткових даних.

Однак українські реалії, попри зростаючу роль у світі ДЗЗ та фотограмметричних способів створення ЦМР, передбачають як основне джерело для моделювання рельєфу великомасштабні топографічні карти.

ЦМР створюються на основі нерегулярних триангуляційних мереж TIN та регулярних сіток GRID.

TIN-модель поверхні у вигляді мережі суміжних трикутних граней, що не перетинаються і які покривають поверхню та визначені по вузлах і ребрах. При побудові TIN-моделі дискретно розташовані точки з'єднуються лініями, які утворюють трикутники. Оскільки поверхня кожного трикутника задається висотами трьох його вершин, застосування трикутників забезпечує кожній ділянці мозаїчної поверхні точне прилягання до суміжних ділянок. Це забезпечує безперервність поверхні при нерегулярному розташуванні точок.

На нашу думку, TIN-моделі є досить зручним способом для відображення рельєфу та збереження вхідних даних про нього. Також цю модель можна використати, щоб відображати на карті дані про опади, температуру, щільність населення.

Традиційний підхід до 3D-моделювання рельєфу місцевості полягає в реалізації технологічної схеми TIN (Triangulated Irregular Network)-моделі ↔ ЦМР, яка включає етапи (рис. 5).



Рис. 5. Технологічна схема традиційного створення ЦМР на основі TIN-моделі

В основі методів моделювання (побудови) безперервних поверхонь на основі дискретних (точкових) масивів просторово-координованих даних лежать процедури просторової інтерполяції. При цьому використовуються як стохастичні, так і детерміновані дані.

Інтерполяція – відновлення функції на множині точок за відомими її значеннями в кінцевій множині точок, що належать цьому інтервалу [2].

Створення поверхні в ГІС – заповнення простору між наявними дискретними точками, що містять дані вимірів певного безперервного явища.

На сьогодні існує багато методів, що дозволяють розв'язувати цю задачу. Серед них – інтерполяція на основі триангуляції Делоне, метод зворотно зважених відстаней, метод природної околиці, методи сплайн-апроксимації, трендів, радіальних базисних функцій, кригінг, метод «Топо в растр» та багато інших.

Для цього випадку створення ЦМР для території України виконувалася така послідовність операцій: оцифровані горизонталі конвертувалися у точках перегину в шар точок (рис. 6).

Шар нерегулярно розташованих по місцевості точок став основою для створення TIN-моделі на основі триангуляції Делоне, яка є шаром, подає безперервне поле значень висот для придання зображенню об'ємного виду.

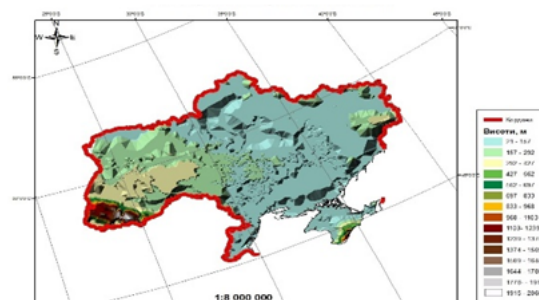


Рис. 6. ЦМР України, що створена на основі TIN

ЦМР отримують векторизацією (оцифруванням) горизонталей у робочому вікні геоінформаційної програми і присвоєнням їм значень висот у табличній формі. Кожна горизонталь стає головним компонентом цифрової моделі і формує зовнішній вигляд рельєфу. Після векторизації горизонталей, записаних у вигляді шейп-файла (*.shp), ГІС будує об'ємну модель рельєфу у вигляді TIN – Triangular Irregular Network (трикутної нерегулярної мережі). Нерегулярною вона є тому, що розміри трикутників різні залежно від щільності горизонталей.

Інтерполяція на основі триангуляції Делоне за умови достатньо рівномірного розташування точок у точності моделює дії людини у процесі побудови рельєфу в горизонталях і обчисленні висот точок, у результаті чого досягається найбільш звична картина рельєфу. При цьому спочатку будується система трикутників, що не перекриваються, вершинами яких є вихідні точки. Поверхня подається як багатогранник з трикутними гранями, де проекція кожної грані на площину, що картографується, і є відповідний трикутник триангуляції, а висоти дорівнюють значенням $z = 0$ в i -х точках. З безлічі точок на площині можуть бути утворені різні мережі триангуляції, і відповідно до цього будуть утворюватись різні поверхні. Виявляється, що оптимальною для моделювання є триангуляція Делоне, в якій для запобігання виникнення зломів ізоліній на ребрах полігонів для кожної вихідної точки будується локальний поліном першого або другого ступеня, і за допомогою триангуляції ці локальні поліноми «склеюються» в одну гладку поверхню.

Найважливішою особливістю сучасного зображення рельєфу є необхідність відображення рельєфу за допомогою поверхні. ЦМР задається масивом просторових координат точок, які описують складну поверхню рельєфу місцевості. За способом розташування точок розрізняють регулярну, нерегулярну, структуровану моделі (рис. 7).

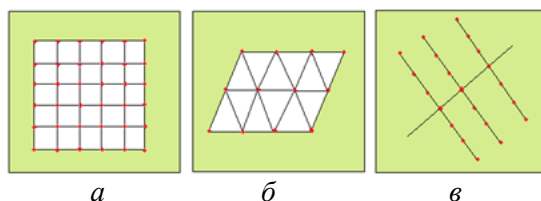


Рис. 7. Регулярні цифрові моделі місцевості: а – на квадратній сітці; б – на трикутниках; в – на поперечниках до магістрального ходу

Проте використання цієї моделі для гірських областей і карт відповідних масштабів може призвести до виникнення ефекту лінійної апроксимації і згладжування форм рельєфу, що знаходиться між ізолініями, що найчастіше є неприйнятним.

ЦМР, що будується за поперечниками до магістрального ходу, передбачає створення системи поперечних профілів, на яких у місцях перегинів профільних ліній і розташовуються опорні точки моделі.

Подання ЦМР на регулярній сітці GRID передбачає інтерполяцію значень висот і відоме як модель DEM (Digital Elevation Model). Регулярна ЦМР може бути розрахована на будь-яку область і мати будь-який розмір. У таких цифрових моделях точки з відомими просторовими координатами розташовуються у вершинах сітки квадратів, прямокутників, рівносторонніх або рівнобедрених трикутників (рис. 6 а, б).

Існують також цифрові моделі у вигляді системи поперечних профілів, проведених через встановлені відстані до заданої лінії (наприклад, повітряної лінії траси) та із заданим стандартним кроком розміщення точок у кожному поперечнику (рис. 6, в) [2].

GRID-подання поверхні вважається функціональною поверхнею, оскільки для будь-якого місця x, y зберігається тільки одне значення аплікати Z . Функціональні поверхні є 2,5-вимірними (2,5 D) поверхнями [2].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Метод «Зворотно-зважені відстані» (ЗЗВ) передбачає побудову регулярної сітки висот (рис. 8).

Метод ЗЗВ визначає значення комірки з використанням лінійно-зваженого поєднання безлічі точок вибірки. Вага, яка призначається, є функцією відстані вхідної точки від місця вихідної комірки: чим більша відстань, тим менша вага значень. Задані значення до невідомих точок розраховуються із середньозважених значень, доступних у відомих точках.

Метод ЗЗВ є частковим, але найбільш поширеним випадком методу середнього вагового, або ковзного середнього вагового, який об'єднує ідеї близькості, що використовується, у свою чергу, методом полігонів Тиссена–Вороного з повільними змінами трендової поверхні.

Метод «Природної околиці», як і метод ЗЗВ, ґрунтується на ваговому усередненні значень. Автором цього методу є Робін Сібсон [8]. Метод також відомий як інтерполяція Сібсона, або «захоплюючої області». Його основні властивості – будучи локальним, він використовує тільки підмножину зразків, які оточують точку запиту, і те, що інтерпольовані висоти гарантовано будуть у межах діапазону використовуваних зразків. Метод інтерполяції «Природної околиці» використовує середньозважене значення локальних даних, що ґрунтується на концепції координат природного околиці, обумовленої полігонами Тиссена. Цей метод має багато позитивних властивостей: може ефективно працювати з великими наборами вхідних точок; використовуватись як для інтерполяції, так і для екстраполяції, і загалом добре працювати з кластерами розподілених точок.

На рис. 9 представлена ЦМР, що створена методом «Природної околиці».

Метод «кригінгу» – це вид узагальненої лінійної регресії, який використовує статистичні параметри для знаходження оптимальної оцінки у значенні мінімального середнього відхилення при побудові поверхонь, кубів і карт.

В основі кригінгу (крайгінгу) лежить припущення, що відстані між точками вимірів відображують просторову кореляцію, яку можна використати для формування поверхні. Цей метод отримав свою назву від прізвища Південно-Африканського геолога Д. Дж. Кріге, роботи якого лягли в основу розробки цієї технології інтерполяції. Іноді в російсько- і українськомовній літературі цей метод називають «кригінг» або «крайгінг». При побудові моделі використовується так званий «ординарний кригінг» з лінійною варіограмою, що є точним інтерполятором [2].

Цей метод інтерполяції заснований на використанні методів математичної статистики. У його реалізації застосовується ідея змінної, яка змінюється від місця до місця з деякою видимою безперервністю, тому не може моделюватися тільки одним математичним рівнянням. Поверхня розглядається у вигляді трьох незалежних величин. Перша – тренд, що характеризує зміну поверхні в певному напрямку. Далі передбачається, що є невеликі відхилення від загальної тенденції, на зразок маленьких піків і западин, які є випадковими, але все ж пов'язаними один з одним просторово.

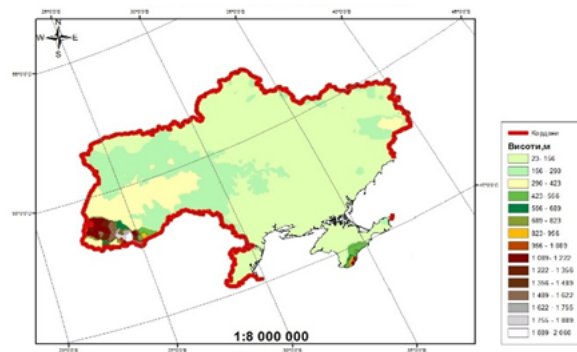


Рис. 8 Побудова ЦМР України за методом ЗЗВ

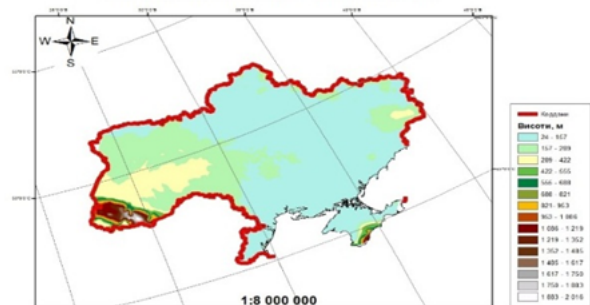


Рис. 9. Побудова ЦМР України за методом «Природної околиці»

Відомі також простий кригінг, індикаторний кригінг, кокригінг, ординарний кригінг з анізотропією, нелінійний кригінг і деякі інші різновиди локально-стохастичної інтерполяції, хоча і менш поширені порівняно з описаними вище, проте такі, що мають свої сфери використання. Ординарний кригінг – найбільш загальний і широко використовуваний метод, що використовується за замовчуванням. Передбачається, що середнє значення константи невідомо.

При універсальному кригінгу передбачається, що є домінуючий тренд у даних – наприклад, переважний вітер – і його можна моделювати детермінованою функцією, поліномом. Цей поліном отримується з вихідних вимірних точок, і автокореляція моделюється з довільних похибок.

На рис. 10 представлено ЦМР, що створена за цим методом.

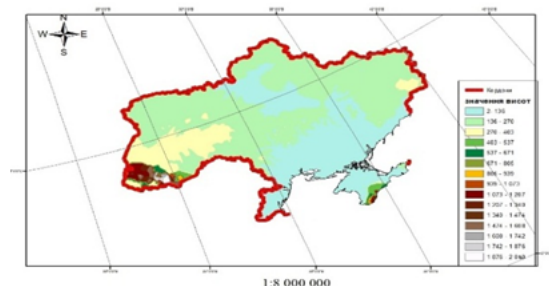


Рис. 10. Побудова ЦМР України за методом кригінгу

Перед цим було оцифровано карти на територію України, та задано проекцію Гаусса-Крюгера і географічну систему координат Красовського 1940 (цей вибір є не випадковим, тому що карта, за якою було оцифровано горизонталі, 1984 року, і саме тоді використовувалась такі параметри).

Метод «Топо в растр» накладає обмеження, які забезпечують гідрологічно коректну ЦМР, яка містить пов'язані структури дренажу і правильно подає хребти й потоки за вхідними даними горизонталей.

Він використовує ітеративний метод інтерполяції кінцевих різниць, який оптимізує обчислювальні ефективності локальної інтерполяції без втрати безперервності поверхні глобальної інтерполяції. Він був спеціально розроблений для інтелектуальної роботи з вхідними горизонталями [9].

За цим методом кращі результати будуть отримані тоді, коли всі вхідні дані зберігаються в тій самій плоскій (або планарній) системі координат і мають ті ж самі одиниці вимірювання висоти. Можуть бути використані широта-довгота; але в цьому випадку результати можуть бути неточними, особливо на високих широтах.



Рис. 11. ЦМР України, створена методом «Топо в растр»

ЦМР України створена методом «Топо в растр» показана на рис. 11.

Метод інтерполяції на основі локальних поліномів передбачає використання як детермінованих методів інтерполяції поверхонь, що засновані на точках виміру або математичних формулах, так і геостатистичних методів інтерполяції, що засновані як на статистичних моделях, які враховують автокореляції, так і на математичних функціях [10; 11].

Характеристики інтерпольованої поверхні можна контролювати за допомогою обмеження вхідних точок, використовуваних для розрахунку значень вихідної комірки. Це може бути зроблено за рахунок обмеження кількості точок замірів або області, з якої беруться точки вимірів. Зазначення максимальної кількості точок вибірки використовуватиме точки, найближчі до місця вихідної комірки, поки не буде досягнута максимальна кількість комірок. При генеруванні поверхні також можна враховувати бар'єри, що відображають лінії розлому, скелі, річки та інші просторові об'єкти, які створюють лінійний розрив у поверхні. Багато інструментів інтерполяції включають бар'єри, які визначають і керують поведінкою поверхні у плані плавності й безперервності. ЦМР створена методом інтерполяції за методом локальних поліномів є реалістичною та наближено зображує рельєф України (рис. 12).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Як впливає з характеристики методів просторової інтерполяції, кожний з них має свої переваги і недоліки, які доцільно врахувати під час вибору того чи іншого методу при побудові ЦМР. Крім того, вибір методу інтерполяції наявних даних також залежить від кількості вихідних точок даних і рівномірності їх розподілу в області інтерполяції.

Висновки. Створення ЦМР значно спростить і підвищить їх рівень для використання в господарських цілях, а також для побудов карт та тривимірного моделювання в задачах моніторингу. За допомогою ЦМР можна наочно досліджувати і вирішувати завдання щодо одержання інформації про рельєф, гідрологічну мережу, морфометричні показники, методи аналізу ерозійних процесів, під час виконання кадастрових робіт тощо. Дані, отримані за допомогою SRTM, дещо спотворюють площу і це не дає повного уявлення про територію країни. Тому виходом з цієї ситуації є отримання ЦМР за рахунок оцифрування горизонталей на топографічній карті та використання інструментів у програмному забезпеченні ArcGIS.

Отже, оцінка правильності способу побудови ЦМР, вибір оптимального з них для такого характеру рельєфу і вирішуваних завдань здебільшого повинні ґрунтуватися на результатах зіставлення реального рельєфу і побудованих ЦМ.

ЦМР на основі TIN-моделі може забезпечити дуже компактне, досить ефективне і для візуального подання, і для виконання багатьох аналітичних процедур (обчислення відхилень, ухилів та ін.) зберігання інформації про рельєф цієї території.

За рахунок удосконалювання ЦМР можливе вироблення нових підходів для їх створення або поєднання декількох. На цьому етапі в умовах відсутності нормативних документів щодо порівняння і створення ЦМР неможливо однозначно сказати, яка краща, оскільки кожна з них має як позитивні, так і негативні сторони. При побудові універсальних ЦМР необхідні не тільки висотні позначки рельєфу, а й дна водойм та урізу води.

Список використаних джерел

1. Геоінформаційні системи в науках про Землю / В. І. Зацерковний, І. В. Тішаєв, І. В. Віршило, В. К. Демидов. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.
2. Бурачек В. Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. – 440 с.
3. Сербенюк С. Н. Методы моделирования геополей по данным в нерегулярно расположенных точках / С. Н. Сербенюк, С. М. Кошель, О. Р. Мусин // Геодезия и картография. – 1990. – № 1. – С. 31–35.
4. Полетаев А. М. Методы сертификационных испытаний цифровых моделей рельефа, сформированных на основе данных дистанционного зондирования Земли / А. М. Полетаев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Вып. 6, т. 1. – С. 220–226.
5. Часковський О. Г. Створення цифрових моделей рельєфу на основі даних аерофотознімання [Електронний ресурс] / О. Г. Часковський. – Режим доступа : http://www.nbuu.gov.ua/old_jrn/natural/1glpdp/2009_35/35-3.pdf.
6. Что такое SRTM? Данные SRTM, и где скачать SRTM [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://mapgroup.com.ua/articles/dzz/109-dannye-srtm-sposoby-polucheniya-dannykh>.
7. Процик М. Т. Методи фотограмметричного та картографічного супроводу багаторівневої системи моніторингу ерозійних ґрунтових процесів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія» / М. Т. Процик. – Львів, 2012. – 26 с.

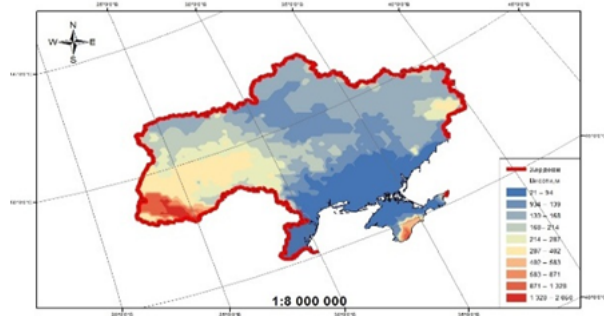


Рис. 12. Побудова ЦМР України за методом інтерполяції на основі локальних поліномів

8. *Sibson, R. (1981). A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2). In V. Barnett. Interpreting Multivariate Data. Chichester: John Wiley. pp. 21–36.*
9. *Шипулін В. Д. Основи ГІС-аналізу : навч. посіб. / В. Д. Шипулін. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 330 с.*
10. *Новаковський Б. А. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей / Б. А. Новаковський, С. В. Прасолов, А. И. Прасолова. – М. : Научный мир, 2003. – 95 с.*
11. *Хромых В. В. Цифровые модели рельефа : учеб. пособие / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. – 178 с.*

References

1. *Zatserkovnyi, V.I., Tishaiev, I.V., Virshylo, I.V., Demydov, V.K. (2016). Heoinformatsiini systemy v naukakh pro Zemliu [GIS in Earth sciences]. Nizhyn: NDU im. M. Hoholia (in Ukrainian).*
2. *Burachek, V.H., Zhelezniak, O.O., Zatserkovnyi, V.I. (2011). Heoinformatsiinyi analiz prostorovykh danykh [Geoinformation analysis of spatial data]. Nizhyn: Aspekt-Polihraf (in Ukrainian).*
3. *Serbeniuk, S.N., Koshel, S.M., Musin, O.R. (1990). Metody modelirovaniia geopolei po dannym v neregularno raspolozhennykh tochkakh [Simulation methods geofields according to irregularly spaced points]. Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography, no. 1, pp. 31–35 (in Russian).*
4. *Poletaev, A.M. (2009). Metody sertifikatsionnykh ispytaniy tsifrovyykh modelei relefa, sformirovannykh na osnove danykh distantsionnogo zondirovaniia Zemli [Methods of certification tests of digital elevation models generated based on remote sensing data]. Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa – Current problems in remote sensing of the Earth from space, issue 6, vol. 1, pp. 220–226 (in Russian).*
5. *Chaskovskiy, O.H. (2009). Stvorennia tsyfrovyykh modelei reliefu na osnovi danykh aerofotoznimannia [Creation of digital elevation models based on aerial photographs]. Retrieved from http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/lglpdp/2009_35/35-3.pdf.*
6. *Chto takoe SRTM? Dannye SRTM, i gde ckachat' SRTM [What is SRTM? SRTM data, and where to download SRTM]. Retrieved from <http://mapgroup.com.ua/articles/dzz/109 -dannye-srtm-sposoby-polucheniya-dannykh>.*
7. *Protsyk, M.T. (2012). Metody fotogrammetrychnoho ta kartohrafichnoho suprovodu bahatorivnevoi systemy monitorynhu eroziynykh gruntovykh protsesiv [Methods of photogrammetric and mapping support multi-level monitoring of erosion of soil processes]. Extended abstract of candidate's thesis. Lviv (in Ukrainian).*
8. *Sibson, R. (1981). A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2). In V. Barnett. Interpreting Multivariate Data. Chichester: John Wiley, pp. 21–36.*
9. *Shypulin, V.D. (2014). Osnovy HIS-analizu [Fundamentals of GIS Analysis]. Kharkiv: KhNUMH (in Ukrainian).*
10. *Novakovskii, B.A., Prasolov, S.V., Prasolova, A.I. (2003). Tsifrovyye modeli relefa realnykh i abstraknykh geopolei [Digital elevation models of real and abstract geofields]. Moscow: Nauchnyi mir (in Russian).*
11. *Khromykh, V.V., Khromykh, O.V. (2007). Tsifrovyye modeli relefa [Digital elevation models]. Tomsk: TML-Press (in Russian).*

Зацерковний Віталій Іванович – доктор технічних наук, завідувач кафедри геоінформатики, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка (вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна).

Зацерковный Виталий Иванович – доктор технических наук, заведующий кафедрой геоинформатики, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко (ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина).

Vitalii Zatserkovnyi – Doctor of Technical Sciences, Head Department of Geoinformatics, Taras Shevchenko National University of Kyiv (90 Vasylkivska Str., 03022 Kyiv, Ukraine).

E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2346-9496>

Рулъ Наталія Володимирівна – бакалавр, Національний авіаційний університет (просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680, Україна).

Рулъ Наталья Владимировна – бакалавр, Национальный авиационный университет (просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина).

Natalia Rul – bachelor, National Aviation University (1 Cosmonaut Komarov Av., 03680 Kyiv, Ukraine).

E-mail: natrull1996@ukr.net

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Плічко Людмила Володимирівна – керівник гуртка, Куликівський районний центр позашкільної освіти (вул. Шевченка, 4а, смт. Куликівка, Чернігівська область, 16300, Україна).

Пличко Людмила Владимировна – руководитель кружка, Куликовский районный центр внешкольного образования (ул. Шевченка, 4а, пгт. Куликовка, Черниговская область, 16300, Украина).

Liudmyla Plichko – club tutor, Centre after school study of Kulikovka district (4A Shevchenko Str., Kulikovka, Chernihiv region 16300, Ukraine).

E-mail: PlichkoL@rambler.ru

Кривоберець Сергій Володимирович – викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Кривоберец Сергей Владимирович – преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Serhiy Kryvoberets – lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: agrogis@mail.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2193-1096>

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/N-2859-2016>

УДК 004.94; 004.023

*Володимир Казимир, Аліна Посадська***ДОСЛІДЖЕННЯ КОГНІТИВНИХ КАРТ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ***Владимир Казимир, Алина Посадская***ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ КАРТ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ***Volodymyr Kazymyr, Alina Posadska***RESEARCHING THE COGNITIVE MAPS BY SIMULATION MODELING**

В статті представлено й обґрунтовано застосування підходу до дослідження когнітивних карт з метою прогнозування станів системи, що змінюються під впливом факторів, який базується на використанні розподіленої системи імітаційного моделювання. Надано формальне обґрунтування методу побудови імітаційних моделей нечітких когнітивних карт на основі E-мереж. Наведено приклад використання запропонованого підходу для прогнозування зміни станів екосистеми, у тому числі під впливом альтернативних управлінських рішень.

Ключові слова: нечітка когнітивна карта, когнітивне моделювання, прогнозування поведінки системи, E-мережі, прийняття рішень.

Рис.: 8. Табл.: 1. Бібл.: 11.

В статье представлено и обосновано применение подхода к исследованию когнитивных карт с целью прогнозирования состояний изменяющейся под воздействием факторов системы, который основан на использовании распределенной системы имитационного моделирования. Предоставлено формальное обоснование метода построения имитационных моделей нечетких когнитивных карт на основе E-сетей. Приведен пример использования предложенного подхода для прогнозирования изменения состояний экосистемы, в том числе под влиянием альтернативных управленческих решений.

Ключевые слова: нечеткая когнитивная карта, когнитивное моделирование, прогнозирование поведения системы, E-сети, принятие решений.

Рис.: 8. Табл.: 1. Библ.: 11.

The application of the approach to the researching cognitive maps for the forecasting states that change under the influence of system factors, which is based on the use of a distributed system of simulation modeling, is presented and substantiated in the article. A formal substantiation of the method for building imitation models of fuzzy cognitive maps based on E-networks, is presented. An example of using the proposed approach for forecasting changes of ecosystem conditions, including under the influence of alternative management decisions, is given.

Key words: fuzzy cognitive maps, cognitive modeling, forecasting the system behavior, E-nets, decision making.

Fig.: 8. Tabl.: 1. Bibl.: 11.

Постановка проблеми. Під час дослідження складних систем та процесів, що важко формалізуються, доцільно використовувати метод когнітивного моделювання. Застосовуючи цей метод для аналізу та прогнозування поведінки об'єкта дослідження, необхідно побудувати нечітку когнітивну карту та на її основі промоделювати різні сценарії розвитку подій. Такий прогноз, переважно, робиться за допомогою спеціально розроблених програмних засобів, які за своєю функціональністю та принципами організації позиціонуються між класичними системами імітаційного моделювання та експертними системами [1]. Однак можливості таких систем суттєво обмежені у плані створення моделей, їх верифікації та проведення модельних експериментів, а також відносно порівняння альтернатив під час прийняття рішень, які можуть бути оцінені з урахуванням можливих ризиків.

Водночас імітаційне моделювання є потужним засобом дослідження складних систем, що функціонують в умовах невизначеностей. За допомогою імітаційних моделей стає можливим проаналізувати та спрогнозувати поведінку системи у випадках, коли аналітичні методи не дають потрібного результату з причин обмежень щодо їх використання. Це може стосуватися як структурної складності систем, так і особливостей процесу їх функціонування, який в імітаційному експерименті відтворюється і досліджується з використанням методу Монте-Карло. Як правило, процес імітаційного моделювання передбачає послідовну побудову концептуальної, формалізованої та програмної моделі. При цьому концептуальна модель має принципове значення. Від того,

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

наскільки точно в концептуальній моделі враховані закономірності та особливості системи, що моделюється, залежить успіх у досягненні мети моделювання. Якщо дослідник володіє такою інформацією із самого початку, то можна впевнено рухатись по наступних етапах процесу моделювання.

Тому актуальною можна вважати задачу розробки програмних засобів, здатних повною мірою реалізувати можливості систем імітаційного моделювання для отримання статистичних оцінок кількісних характеристик систем, представлених на концептуальному рівні у вигляді когнітивних карт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання методу когнітивного моделювання для аналізу слабоформалізованих систем описано в роботах таких учених, як Ф. Робертс, Дж. Каст, В. Б. Силов, В. І. Максимов, Г. В. Горелова, О. П. Гожий, І. М. Вергунова та ін. [1–8]. У них сформульовані основні теоретичні принципи побудови когнітивних карт, у тому числі нечітких когнітивних карт, та надані чисельні приклади їх застосування в соціально-економічних, екологічних, політичних та інших предметних областях. Характерними рисами цих застосувань є зосередженість на обчисленні системних показників консонансу та дисонансу, які стосуються оцінки впливу факторів один на одного та впливу факторів на систему в цілому, в той час як питання прогнозування зміни станів факторів, тим більше в умовах невизначеності, висвітлені недостатньо. Однією з причин цього можна вважати обмеженість можливостей існуючих програмних засобів когнітивного аналізу в питаннях прогнозування станів системи в динаміці.

Метою статті є обґрунтування підходу до дослідження когнітивних карт з метою прогнозування станів системи, що змінюються під впливом факторів, який базується на застосуванні розподіленої системи імітаційного моделювання EMS – E-net Modeling System [9].

Когнітивні карти та їх властивості. Під когнітивною картою (КК) розуміють орієнтований граф, ребрам якого поставлені у відповідність деякі ваги. Вершинами цього графа є множина факторів (концептів), що визначають ситуацію, орієнтованими ребрами – причинно-наслідкові зв'язки між факторами [7]. КК не дають точного опису системи, що досліджується, а відображають тільки суб'єктивні оцінки експертів про закономірності, притаманні даній системі.

Спочатку як когнітивні карти використовували знакові графи [10], в яких ребра позначаються знаками «+» та «-», що відображають відповідно додатній та від'ємний зв'язок або характер впливу між факторами. Але згодом більш поширеним різновидом КК стали нечіткі когнітивні карти (НКК) [8], які дозволяють, крім загальних ознак впливу, ще й вказати рівень впевненості щодо оцінок впливу, представлений вагою дуг графа в інтервалі $[-1, +1]$. На рис. 1 і рис. 2 наведено приклади КК у загальному та нечіткому варіанті відповідно.

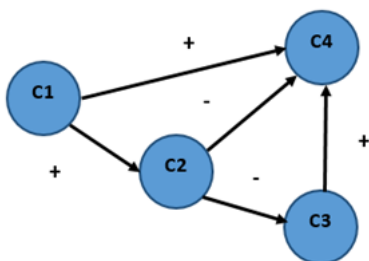


Рис. 1. Когнітивна карта

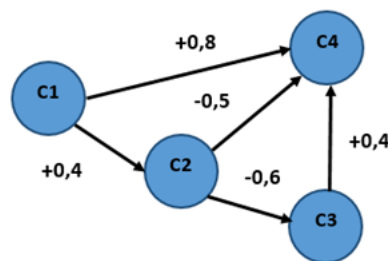


Рис. 2. Нечітка когнітивна карта

У процесі дослідження ситуацій за допомогою КК проводять статичний аналіз (оцінка впливу одних факторів на інші та стійкості ситуації загалом, пошук структурних змін для отримання стійких структур) або динамічний аналіз (генерація та аналіз можливих сценаріїв розвитку ситуації у часі, наслідків впливу на елементи системи або

зміни характеру зв'язків) [7]. Що ж стосується прогнозування зміни станів системи, що досліджується, то в послідовні моменти $t, t + 1, \dots, t + N$, знаходять значення векторів стану системи (ситуації) $S(t), S(t + 1), \dots, S(t + N)$ (де значення моменту t – номер кроку моделювання). Оскільки функції впливу залежать не від значень вхідних факторів, а від їх приростів, то знаходять вектори станів ситуації $S(1), \dots, S(N)$ та вектори приросту $Pr(1), \dots, Pr(N)$ у послідовні дискретні моменти $1, \dots, N$ при заданих початкових векторах стану $S(0) = s_1^0, \dots, s_n^0$ і приростів факторів $Pr(0) = (p_1(0), \dots, p_n(0))$. Для цього використовується матричне співвідношення:

$$Pr(t + 1) = \sum Pr(t) \times U, \quad (1)$$

де U – множина дуг, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$. Тобто приріст $p_i(t + 1)$ – це сума добутків $u_{ji} p_j(t)$ для змінної мережі системи v_i . Далі обчислюються прирости в послідовні моменти $1, \dots, N$ та вектори станів ситуації: $S(t + 1) = S(t) + Pr(t + 1)$.

Імітаційне моделювання НКК. У процесі імітаційного моделювання НКК будемо розглядати вихідну НКК як концептуальну модель, яка є основою для подальшої формалізації. Для побудови формалізованої моделі пропонується використовувати керуючі Е-мережі (Control E-net, CEN) [11], які є найбільш потужним розширенням мереж Петрі. Формально CEN задаються множиною:

$$CEN = (P, T, F, V, U, M_0), \quad (2)$$

де P – множина позицій мережі;

T – множина переходів $T = \{T_T, T_F, T_J, T_X, T_Y\}$;

F – функція інцидентності, $F: P \times T \cup T \times P \rightarrow \{0, 1\}$;

V – множина змінних мережі;

$U = r, \sigma, \alpha, \tau, z$ – множина керуючих відображень, які визначають правила спрацювання переходів (r – вирішальна функція на X- та Y-переходах, σ – функція готовності, α – функція активації, τ – функція затримки, z – функція перетворення);

$M_0: P \rightarrow \{0, 1\}$ – функція початкового маркування, що задає присутність або відсутність позначок у позиціях.

Головна відмінність CEN від звичайних мереж Петрі полягає у використанні переходів п'яти типів (Т-перехід – послідовні дії, F-перехід – розгалуження шляхів, J-перехід – злиття шляхів, X-перехід – перемикач між альтернативними шляхами, Y-перехід – вибір при злитті альтернативних шляхів дій), можливості виконання обчислювальних операцій із атрибутами міток, що переміщуються по мережі, та використанні набору змінних мережі, доступних для функцій переходів та міток.

Розглянемо семантику CEN як формальної основи для моделювання НКК. Під станом $S(t)$ в CEN будемо розуміти вектор значень змінних мережі $V(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))$. Кожна із змінних $v_i(t) \in V(t), i = \overline{1, n}$ буде відображати значення i -го фактору в момент часу t . Оскільки всі дії у Е-мережі відбуваються тільки при спрацюванні певних переходів, то можна вважати, що зміна маркування позицій, яка створює умови для цього, буде впливати на зміну стану мережі. Тоді відображення:

$$M(t): V(t) \rightarrow S(t), \quad (3)$$

де $M(t)$ – маркування позицій в момент часу t фактично реалізує процес зміни станів НКК, представлену у вигляді CEN.

Тоді загальну формалізовану модель НКК з урахуванням приростів факторів можна записати як:

$$FM = (CEN, Pr(t)) \quad (4)$$

Під час модельного експерименту мітки будуть просуватися по мережі відповідно до правил спрацювання переходів, відтворюючи процес зміни станів факторів у часі.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Нечіткий характер впливів факторів враховується у функціях перетворення переходів. До того ж, функція часової затримки може бути використана для врахування часових властивостей взаємодії факторів.

Формалізована модель у вигляді СЕН для НКК, наведеній на рис. 2, представлена на рис. 3.

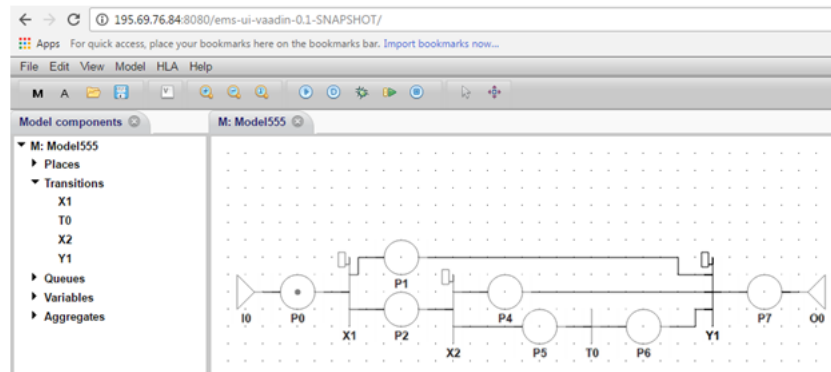


Рис. 3. Формалізована модель НКК, побудована за допомогою СЕН

Дана формалізована модель побудована у системі імітаційного моделювання EMS, яка базується на використанні математичного апарату СЕН. Графічний інтерфейс EMS підтримує процес побудови моделі і забезпечує автоматичне створення програмної моделі для проведення експериментів із нею. У цій моделі дугам відповідають переходи, а позиціям – фактори впливу.

Щоб відобразити можливість альтернативного вибору під час здійснення впливу, який може стосуватися розміру приросту чи навіть його знаку, додатково на шляху впливу може бути поставлений агрегат (окрема модель), схема якого наведена на рис. 4.

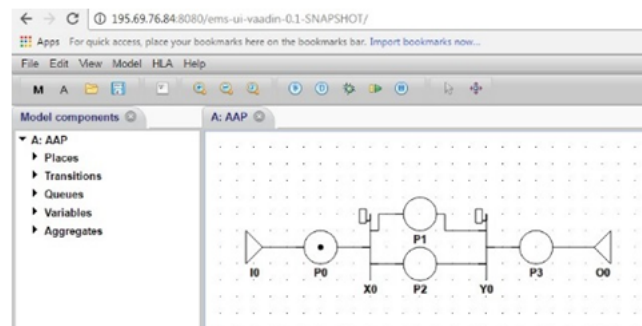


Рис. 4. Агрегат альтернативного вибору

Приклад застосування запропонованого підходу. Розглянемо задачу по зменшенню забруднення водних ресурсів екосистеми, яка описана в [6]. У цій задачі екосистема представляється у вигляді НКК, що представлена на рис. 5. Як фактори впливу розглядаються:

- K1 – забруднення водних ресурсів;
- K2 – промислові відходи (стоки);
- K3 – старіння очисних споруд;
- K4 – техногенні аварії;
- K5 – нові технології очищення;
- K6 – вартість нових очисних споруд;
- K7 – зростання населення;
- K8 – стан навколишнього середовища.

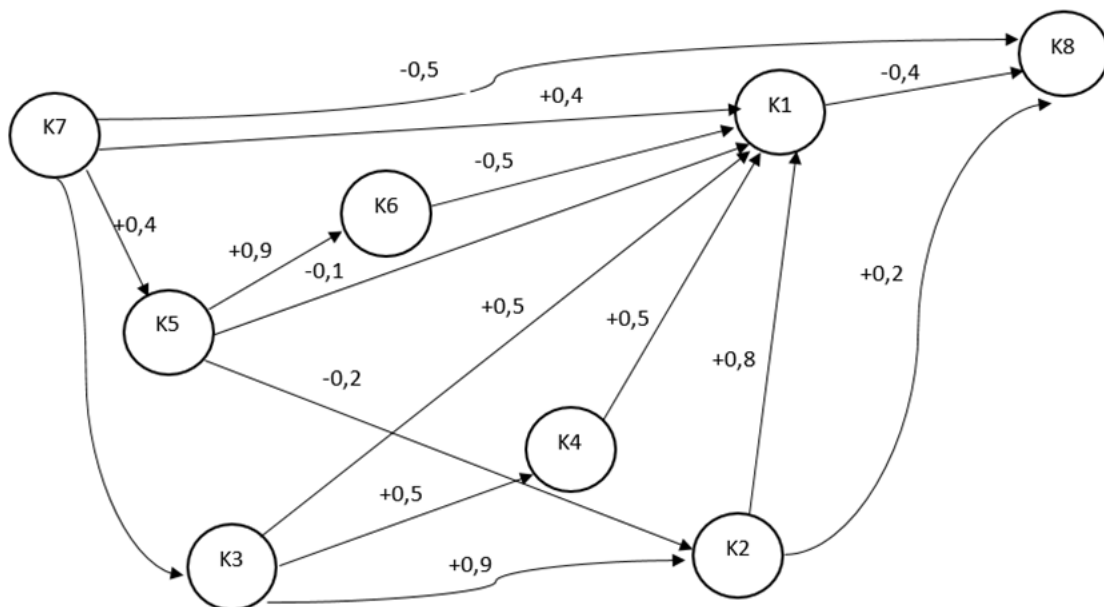


Рис. 5. Концептуальна модель екосистеми

Програмна модель наведеної НКК, побудована в системі EMS, має вигляд, представлений на рис. 6.

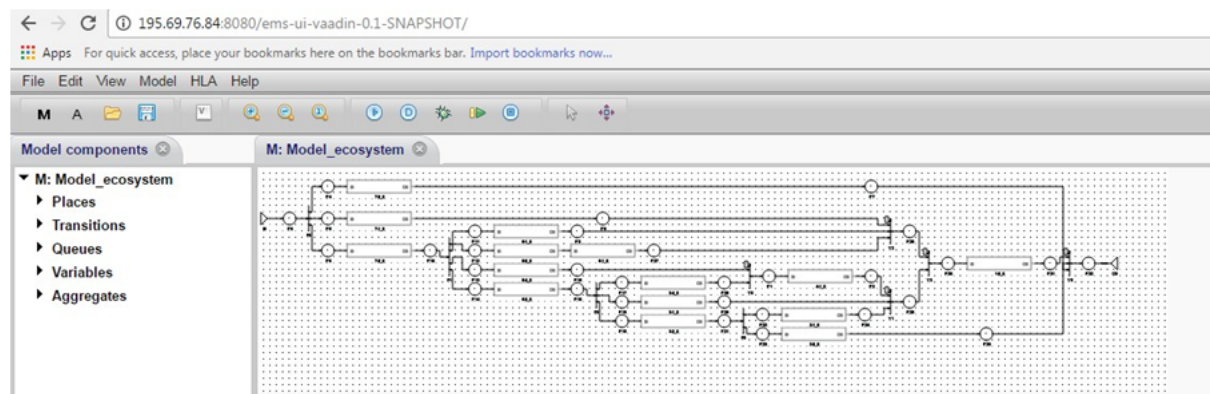


Рис. 6. Програмна модель екосистеми

Розроблена імітаційна модель включає агрегати, кожен з яких моделює вибір альтернативного шляху зміни впливу кожного фактора.

Так як головна мета - зменшення рівня забруднення екосистеми, то далі необхідно дослідити зміну значень основних параметрів на певних відрізках часу поетапно. По аналогії з [6], був задіяний план по зменшенню рівня забруднення водних ресурсів, наведений в таблиці.

Таблиця

План по зменшенню рівня забруднення водних ресурсів

№ етапу	Заходи	Значення концептів
1 етап – 3 місяці	Зменшення рівня промислових стоків, впровадження нових технологій очищення	Зменшення K2 Збільшення K5
2 етап – 6 місяців	Зменшення рівня промислових стоків та зниження старіння очисних споруд, впровадження нових технологій очищення	Зменшення K2, K3 Збільшення K5
3 етап – 6 місяців	Зменшення рівня промислових стоків, впровадження нових технологій очищення та зростання населення	Зменшення K2 Збільшення K5, K7

Приріст впливу кожного фактору задається нормальним законом розподілення із математичним очікуванням 0,1 та середнім квадратичним відхиленням 0,01. Як альтернативи розглядалися зміни впливу кожного фактору з приростом 0,05.

На рис. 7 і рис. 8 представлено результати моделювання зміни станів екосистеми для основного та альтернативного варіантів приросту факторів.

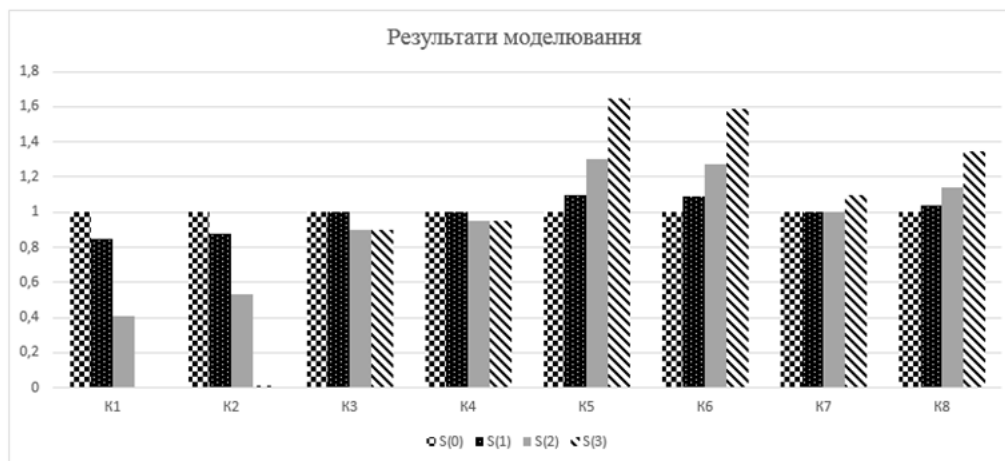


Рис. 7. Результати моделювання зміни станів екосистеми

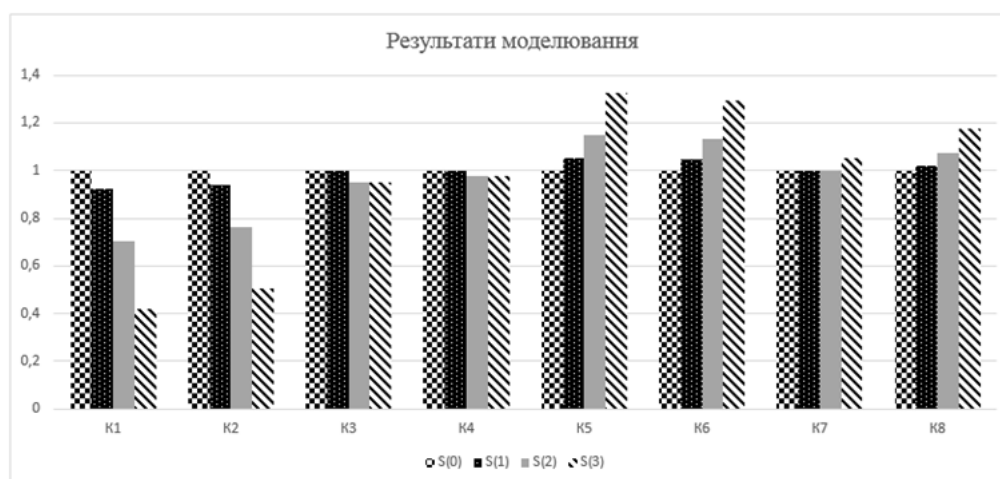


Рис. 8. Альтернатива зміни впливу факторів

Виходячи з представлених результатів моделювання, можна зробити висновок, що екосистема приходять до задовільного стану вже на третьому часовому етапі, однак для альтернативних рішень тенденція зниження рівня забруднення уповільнюється більше ніж у два рази.

Висновки. Задіяна в запропонованому підході інформаційна технологія, що базується на використанні формального апарату керуючих Е-мереж, забезпечує переведення процесу дослідження когнітивних карт від аналітично-розрахункового порівняння до статистичного оцінювання параметрів системи. Завдяки цьому спрощується процедура побудови імітаційних моделей та закладається можливість не тільки прогнозувати динаміку зміни факторів у часі, в тому числі з урахуванням невизначеностей щодо планових показників, але й оцінювати різні варіанти розвитку ситуацій для альтернативних управлінських рішень.

Список використаних джерел

1. Кулинич А. А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы / А. А. Кулинич // Пробл. управл. – 2010. – № 3. – С. 2–16.

2. Силов Б. В. Принятие стратегических решений в нечёткой обстановке / Б. В. Силов. – М. : ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
3. Авдеева З. К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) / З. К. Авдеева, С. В. Коврига, Д. И. Макаренко // UBS. – 2007. – Issue 16. – С. 26–39.
4. Горелова Г. В. Имитационное моделирование вариантов резервирования в распределенных информационно-управляющих системах с децентрализованной организацией / Г. В. Горелова, Э. В. Мельник // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 184–193.
5. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.iis.ru/events/19981130/maximov.ru.html>.
6. Гожий О. П. Побудова динамічних моделей на основі нечітких когнітивних карт для вирішення задач сценарного планування / О. П. Гожий // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2013. – № 7. – С. 13–17.
7. Вергунова І. М. Системне моделювання в економіці (блок 2) (для студентів за напрямом підготовки 8.04030203 – соціальна інформатика) / І. М. Вергунова. – К. : ФОРМ Корзун Д. Ю. 2013. – 106 с.
8. Когнитивные карты с интерпретацией концептов и связей между ними совокупностью аргументов двузначной логики / А. И. Каяшев, М. И. Шарипов, Е. А. Муравьёва, К. А. Багров // В сборнике: XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – М. : Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 4126–4131.
9. Казимир В. В. Розподілена система імітаційного моделювання EMS / В. В. Казимир, Г. А. Сіра, І. І. Мушкетик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2011. – № 3. – С. 144–153.
10. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс. – М. : Наука, 1986. – 496 с.
11. Казимир В. В. Динамічна оцінка ризику виконання плану робіт методом імітаційного моделювання / В. В. Казимир, А. С. Посадська // Технічні науки і технології : науковий журнал. – 2016. – № 3(5). – С. 113–122.

References

1. Kulnich, A.A. (2010). Komp'yuternye sistemy modelirovaniya kognitivnykh kart: podhody i metody [Computer systems for modeling cognitive maps: approaches and methods]. *Probl. upravl. - Management issues, Moskva*, № 3, pp. 2–16 (in Russian).
2. Silov, B.V. (1995). Prinjatие strategicheskikh reshenij v nechëtkoj obstanovke [Making strategic decisions in an unfavorable environment]. *M.: INPRO-RES*, 228 p. (in Russian).
3. Avdeeva, Z.K., Kovriga, S.V., Makarenko, D.I. (2007). Kognitivnoe modelirovanie dlja reshenija zadach upravlenija slabostrukturirovannymi sistemami (situacijami) [Cognitive modeling for solving problems of managing badly structured systems (situations)]. *UBS*, Issue 16, pp. 26–39 (in Russian).
4. Gorelova, G.V., Mel'nik, Je.V. (2013). Imitacionnoe modelirovanie variantov rezervirovaniya v raspredelennyh informacionno-upravljajushhijh sistemah s decentralizovannoj organizaciej [Simulation modeling of backup options in distributed information-control systems with a decentralized organization]. *Izvestija JuFU. Tehniceskie nauki - News of SFedU. Technical sciences*, № 3 (140), pp.184-193 (in Russian).
5. Kognitivnye tehnologii dlja podderzhki prinjatija upravlencheskich reshenij [Cognitive technologies to support management decision-making] (2017). Retrieved from: <http://www.iis.ru/events/19981130/maximov.ru.html>.
6. Hozhyi, O.P. (2013). Pobudova dynamichnykh modelei na osnovi nechitkykh kognitivnykh kart dlja vyrishennia zadach stsenarnoho planuvannia [Dynamic modeling based on fuzzy cognitive maps for solving problems scenario planning]. *Visnyk Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttiediialnosti - Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, № 7, pp. 13-17 (in Ukrainian).
7. Verhunova, I.M. (2013). Systemne modeliuвання v ekonomitsi (blok 2) (dlia studentiv za napriamom pidhotovky 8.04030203 – sotsialna informatyka) [System modeling in the economy (Block 2) (for students in the direction of 8.04030203 - Social Informatics)]. *K., FOP Korzun D.Iu.*, 106 p. (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Kajashev, A.I., Sharipov, M.I., Murav'jova, E.A., Bagrov, K.A. (2014). Kognitivnye karty s interpretaciej konceptov i svjazej mezhdru nimi sovokupnost'ju argumentov dvuznachnoj logiki [Cognitive maps with interpretation of concepts and connections between them by a set of arguments of two-valued logic]. *V sbornike: XII vserossijskoe soveshhanie po problemam upravlenija vspu - In the collection: XII All-Russian meeting on problems of control of flap*, Institut problem upravlenija im. V.A. Trapeznikova RAN, pp. 4126-4131 (in Russian).
9. Kazymyr, V.V., Sira, H.A., Mushketyk, I.I. (2011). Rozpodilena systema imitatsiynoho modelyuvannya EMS [Distributed simulation system EMS]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu - Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no.3, pp. 144 – 153 (in Ukrainian).
10. Roberts, F.S. (1986). Diskretnye matematicheskie modeli s prilozhenijami k biologicheskim i jekologicheskim zadacham [Discrete mathematical models with applications to biological and ecological problems]. *M.: Nauka*, 496 p. (in Russian).
11. Kazymyr, V.V., Posadska, A.S. (2016). Dynamichna otsinka ryzyku vykonannya planu robit metodom imitatsiynoho modelyuvannya [Dynamic risk assessment of the work plan implementation by simulation modeling]. *Tekhnichni nauky i tekhnolohii: naukovyi zhurnal - Technical sciences and Technologies*, Chernih.nats.tekhnol.un-t, Chernihiv, № 3(5), pp. 113-122 (in Ukrainian).

Казимир Володимир Вікторович - доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Казимир Владимир Викторович - доктор технических наук, профессор, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kazymyr Volodymyr - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkazymyr@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

Scopus Author ID: 56644727300

Посадська Аліна Сергіївна – асистент кафедри інформаційних систем в економіці, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Посадская Алина Сергеевна – ассистент кафедры информационных систем в экономике, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Posadska Alina – assistant of the Department of Information Systems in the Economy, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: alinka.posadskaya@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6155-5913>

УДК 528.8:004.9

*Віталій Литвинов, Олег Житник***ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСОБІВ КОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ З РІЗНОЮ ПРОСТОРОВОЮ РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ***Віталій Литвинов, Олег Житник***СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ С РАЗНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ***Vitalii Lytvynov, Oleh Zhytnyk***COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT SPATIAL RESOLUTION SATELLITE WITH DIFFERENT IMAGERY MEANS**

Дистанційне зондування з року в рік набирає все більших обертів по впровадженню в різних галузях людської діяльності. Сприяє цьому передусім розвиток інформаційних технологій, що призводить до використання все більш потужних систем.

Нині нараховуються сотні діючих космічних комплексів проведення аерокосмічних спостережень. Всі вони відрізняються характеристиками встановлених на них оптичних та радіометричних систем. Одні спрямовані на вирішення більш глобальних завдань, через що мають не таку здатність до деталізації зображень, інші ж допомагають вирішувати більш локальні завдання, внаслідок чого здатні фіксувати об'єкти земної поверхні навіть невеликих розмірів.

Серед усього різноманіття космічних оптико-електронних систем у цій статті розглянуто основні діючі на сьогодні передові зразки, порівняно їхні параметри та визначено найбільш доцільні цілі їх використання.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, штучний супутник Землі, сканування, аерокосмічна зйомка, спектральний канал, просторова роздільна здатність.

Табл.: 1. Бібл.: 14.

Дистанционное зондирование из года в год набирает все большие обороты по внедрению в различных областях человеческой деятельности. Этому способствует, прежде всего, развитие информационных технологий, что приводит к использованию всё более мощных систем.

Сейчас насчитываются сотни действующих космических комплексов проведения аэрокосмических наблюдений. Все они отличаются характеристиками установленных на них оптических и радиометрических систем. Одни направлены на решение более глобальных задач, следовательно, имеют незначительные способности к детализации изображений, другие же помогают решать более локальные задачи, из-за чего способны фиксировать объекты земной поверхности даже небольших размеров.

Среди всего многообразия космических оптико-электронных систем в данной статье рассмотрены основные действующие на сегодня передовые образцы, сравнены их параметры и определены наиболее преобладающие цели их использования.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, искусственный спутник Земли, сканирование, аэрокосмическая съёмка, спектральный канал, пространственное разрешение.

Табл.: 1. Библ.: 14.

Remote sensing from year to year is gaining great momentum for implementation in various fields of human activity. The development of information technologies contributes to this first of all, which leads to the use of ever more powerful systems.

Now there are hundreds of existing space complexes of aerospace observations. They differ in characteristics are established on the optical and radiometric systems. Some are aimed at solving more global challenges, through that do not have such a significant ability to image detail, while others help to solve a local problem, thereby fixing the Earth's surface objects even smaller sizes.

Among the variety of space optical-electronic systems in this article it is invited to review its today highlights examples, compare its options and determine the most suitable target for its use.

Key words: remote sensing, Earth's artificial satellite, scanning, aerospace imagery, spectral band, spatial resolution

Табл.: 1. Библ.: 14.

Постановка проблеми. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є ефективним підходом до проведення досліджень земної поверхні і все більше застосовується у багатьох галузях народного господарства [1], пов'язаних з активною експлуатацією просторових даних. Передусім зростання його використання відбувається внаслідок того, що ДЗЗ дозволяє отримати велику кількість геоінформаційних матеріалів, охоплюючи за один або декілька проходів значні території досліджень. Збір даних у разі використання традиційних наземних методів з цих же областей вирізнявся б значно більшими витратами як за трудоемністю, так і за часом його проведення. Також дистанційне зондування дає змогу проводити зйомку планово, у зазначені строки [2]. У подальшому відзняті знімки

можна зберігати у спеціальних репозиторіях геоданих з можливістю отримання доступу до них у будь-який час за необхідності їхнього дешифрування.

Ще більших обертів використання ДЗЗ зазнало за останні десятиліття, коли спостерігається поступове зростання кількісної та якісної складової забезпечення відповідної технічної бази, а отже, і збільшення різноманіття напрямів їхнього цільового призначення. Такий відчутний прогрес у реалізації технологій віддаленого дослідження призвів до зниження цін на зйомку та отримання даних дистанційного зондування (ДДЗ) якщо не для всіх, то принаймні для деяких способів отримання геопросторових даних [3].

На сьогодні існує декілька рівнів отримання ДДЗ. Серед них виділяють космічне, повітряне та наземне проведення зйомки [4]. Всі рівні мають свої переваги та недоліки і кожен з підходів є ефективним лише за певних обставин. Передусім визначальними умовами для придбання геоінформаційних матеріалів будуть їхня вартість і періодичність проведення зйомки, а також просторове захоплення і роздільна здатність отриманих результатів.

У цій статті пропонуємо розглянути та порівняти основні способи отримання матеріалів ДЗЗ рівня космічної зйомки, оскільки для її виконання не потрібно значних трудових та часових затрат, а також початкових капіталовкладень на закупівлю пристроїв для здійснення зйомки. Всі геоінформаційні дані такого типу можна отримати за допомогою використання спеціалізованих веб-ресурсів. Через вищезгадані переваги саме космічна зйомка є найбільш прийнятною для досягнення певних цілей у дослідженні поверхні Землі. В такому випадку постає завдання дізнатися, які саме завдання вона допомагає вирішувати за допомогою сучасних апаратів, та дослідити основні її характеристики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Постійний стрімкий розвиток на сьогодні інформаційних технологій призводить до їх застосування у все більш широкому спектрі сфер людської діяльності. Ще донедавна метою здійснення ДЗЗ було проведення моніторингу глобальних явищ, нині ж використання віддаленого спостереження дозволяє відстежувати різноманітні локальні процеси аж до слідкування за станом посівів у межах полів чи то розміщенням будинків посеред густонаселених районів міста.

Останні роботи як на рівні глобальних, так і на рівні локальних досліджень, які варто відзначити, належать А. А. Жительсону, Е. Флюе-Шуїнару, К. Венгу, Дж. М. Сальмон, К. Б. Мюу, А. В. Замятіну, Є. І. Саприкіну, В. І. Зацерковному та ін. У них основна увага приділяється використанню ДДЗ у таких сферах застосування, як управління інфраструктурою міста, дослідження посівів та рослинності загалом, спостереження за водними ресурсами, регулювання екологічної ситуації, зокрема моніторингу лісових пожеж.

У згаданих роботах до сьогодні продовжується обґрунтовуватись доцільність використання аерокосмічного зондування у різних галузях завдяки пропозиціям і застосуванню нових та удосконаленню старих підходів для сучасних технологій. Як можна помітити, свій вагомий внесок у розвиток такої інтеграції вкладають як закордонні вчені, так і вітчизняні фахівці.

Метою статті є порівняння головних характеристик найперспективніших на сьогодні інструментів космічної зйомки різних класів просторової роздільної здатності (ПРЗ) та огляд основних галузей використання таких ДДЗ.

1. Використання космічної зйомки поверхні Землі.

Завдяки використанню штучних супутників Землі (ШСЗ) людина отримала змогу визначати місцезнаходження (координати) різноманітних об'єктів, ретранслювати радіо- та телесигнали, а також отримувати зображення поверхні Землі з висоти 200-36000 км [4]. Для отримання таких зображень на борту ШСЗ має бути встановлена відповідна система для проведення зйомок. Таким чином, джерелом зйомки є приймач випромінювання у вигляді оптичних або радіолокаційних систем, а сам супутник являє собою головним чином носій цього приймача.

На знімках поверхні Землі з висоти орбіт супутників можна було б розгледіти у загальному випадку лише об'єкти глобальних масштабів, наприклад території материків, циклони та ін. Такі геопросторові матеріали не вирішували б завдань локального масштабу, але завдяки розвитку технологій сучасна апаратура дозволяє отримати зображення з ПРЗ аж до часток метра. Таким чином, на знімках можна розрізнити (вмістити в один піксель зображення) об'єкти, розміри яких можуть не досягати навіть 1 м. Такі кадри завдяки своїй деталізації є достатньо інформативними, але зазвичай їхня вартість дозволяє використовувати їх лише для комерційних цілей великих компаній.

Хоча простежується залежність вартості знімків від характеристики ПРЗ, але існує багато прикладів винятків з цього правила. Яскравим зразком цього можуть слугувати супутники ДЗЗ Landsat, про які йтиметься далі. Просторова роздільна здатність – характеристика ДДЗ, яка показує розмір мінімального об'єкта земної поверхні, який може бути відображений на зображенні. Чим вища ця характеристика, тим менші об'єкти і більш детальні зображення може фіксувати знімальна техніка. Так, при високій ПРЗ мінімальні габарити об'єктів можуть становити десятки сантиметрів, натомість при низькій – десятки, а то і сотні кілометрів. Поділяється просторова роздільна здатність знімків на надвисоку (< 1 м), дуже високу (1–10 м), високу (висока (10–30 м) та відносно високу ПРЗ (30–100 м)), середню (100–1000 м) та низьку (> 1 км).

2. Огляд джерел здійснення космічної зйомки поверхні Землі з низькою ПРЗ.

Пристрій AVHRR (Advanced Very-High-Resolution Radiometer) [5] є на сьогодні одним з тих джерел зйомки ДДЗ низької ПРЗ, які мають найбільший попит серед науковців, спеціалістів та пересічних користувачів. Цей інструмент встановлений на супутниках серій NOAA, що знаходяться під керівництвом Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (NOAA), та MetOp, що управляються Європейською організацією супутникової метеорології (EUMETSAT).

Нині навколо Землі обертаються 3 космічні апарати NOAA, завдяки чому зйомка тієї ж самої території відбувається декілька разів (не менше чотирьох) на добу. До того ж високій періодичності зйомки певної місцевості через накладання сприяє відносно велике значення смуги захоплення – приблизно 2500 км. При таких значних площах захвату за один знімок ПРЗ відповідно становить аж 1,1 км. За наявної можливості зйомки в 4–6 спектральних каналах (для різних версій AVHRR): видимому, ближньому інфрачервоному (Infrared, IR), середньому IR та тепловому IR – множина перспективних напрямів використання відзнятих даних включає ті області, для яких встановлені рамки каналів мають сенс під час проведення експериментів та де не є важливим високий рівень деталізації досліджуваних об'єктів. Передусім, знімки з AVHRR використовуються на рівні глобального масштабу для метеорологічних (відстеження хмарності), екологічних (вимірювання теплового балансу Землі, спостереження за змінами клімату, забруднення довкілля) та океанологічних цілей. Отримати найсвіжіші геодані необхідної місцевості можна з репозиторію CLASS (Comprehensive Large Array-data Stewardship System), замовивши їх за посиланням <https://www.class.ncdc.noaa.gov/>, після чого протягом 24 годин (зазвичай через декілька хвилин) на вказану під час реєстрації адресу електронної скриньки має бути вислане повідомлення з посиланням на відповідні файли геоінформаційних даних.

3. Огляд джерел здійснення космічної зйомки поверхні Землі із середньою ПРЗ.

Місія Earth Observing System (EOS, Система спостереження Землі), керована NASA, спрямована на дослідження поверхні суходолу, біосфери, атмосфери та океанів для відстеження та прогнозування подальших явищ з метою уникнення чи мінімізації потенційних наслідків несприятливих природних чи антропогенних процесів. Протягом цієї місії було запущено багато супутників, серед яких космічні апарати серії Landsat. Крім них, варто звернути свою увагу на такі платформи ДЗЗ, як Terra та Aqua, що разом з

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ШСЗ Ауга забезпечують дослідження поверхні Землі, океанів та атмосфери відповідно. Вагомим інструментом в їхньому складі є використання, крім решти наукових апаратів дослідження Землі, таких оптично-електронних систем, як спектро радіометр середньої роздільної здатності (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) та передовий бортовий емісійний та відбиваючий радіометр (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, ASTER).

MODIS [6] розташований на обох космічних апаратах, обидва екземпляри є ідентичним за своїми характеристиками. Завдяки цьому радіометру можна отримувати космічні знімки середньої роздільної здатності тієї самої території протягом кожних 1–2 діб залежно від широти місцевості. Зйомка проводиться у 36 спектральних каналах видимого, ближнього IR, середнього IR та теплового IR діапазонів зі смугою захоплення 2300 км. У перших двох каналах (видимий червоний та ближній IR) просторова роздільна здатність становить 250 м, у наступних п'яти (синій, зелений, червоний, ближній IR та короткохвильовий IR) – 500 м, у всіх інших – 1 км. Завдяки своєму невисокому ПРЗ та частій періодичності проведення зйомки з його носіїв MODIS дозволяє використовувати знімки у дослідженні значних територій регіонального рівня. Насамперед вони застосовуються для моніторингу стану рослинності з використанням вегетаційних індексів, довгострокових змін рослинного покриву, поширення снігового покриву, дослідження атмосфери, розповсюдження лісових пожеж, підвищення рівня води та підтоплення територій і т. ін. Знімки з MODIS за кожні 6–8 діб можна отримати безкоштовно з веб-ресурсу Earth Explorer Геологічної служби США, що зумовлює їхнє активне використання серед фахівців та звичайних користувачів.

4. Огляд джерел здійснення космічної зйомки поверхні Землі з високою ПРЗ.

Радіометр ASTER [7] розміщений на космічному апараті Тетта. Він здатний сканувати поверхню Землі довжиною 60 км за один знімок. ASTER забезпечує реєстрацію даних у 14 спектральних інтервалах видимого, ближнього IR, середнього IR та теплового IR діапазонів. Для перших 3 каналів (видимий, ближній IR) просторова роздільна здатність становить 15 м, для наступних 6 каналів (середній IR) – 30 м, для решти – 90 м. Таким чином, вказані характеристики забезпечують умови для створення карт температурного розподілу поверхні Землі, слідкування за динамікою розвитку екосистем, моніторингу надзвичайних ситуацій, геологічних цілей та ін. Збір геоданих за допомогою ASTER відбувається не постійно, а за наявності замовлень на виконання зйомки вказаної місцевості. Для отримання знімків з цієї оптико-електронної системи потрібно виконати два кроки. Спочатку необхідно подати заявку на замовлення космічних знімків з коротким описом цілей використання даних, вказанням місцевості, її меж та персональною інформацією. Після розгляду заявки на вказану поштову скриньку має прийти лист зі скасуванням (з обґрунтуванням причини) чи підтвердженням (з логіном та паролем) замовлення. Після успішного засвідчення варто скористатися надісланим логіном і паролем в Data Acquisition Request (DAR) Tool (https://lpdaac.usgs.gov/dar_tool) для вказування планових строків. Після виконання зазначених кроків залишається лише зачекати на проведення зйомки та отримання даних через вказану поштову скриньку. Замовити збір даних завдяки ASTER можна за допомогою веб-сторінки <http://asterweb.jpl.nasa.gov/authorization.asp>, на якій розміщена інструкція користувача та містяться посилання на форму замовлення геоінформаційних матеріалів. Вартість одного знімку загалом становить 80 \$, але може залежати від зазначеної площі отримання знімків та цілей їх отримання. Для замовників, що співпрацюють з NASA, такі знімки є безкоштовними.

Повертаючись до вищезгаданих супутників Landsat, варто відзначити, що вони є частиною найтривалішої на сьогодні космічної програми з проведення дистанційного зондування, яка триває дотепер. За її допомогою було одержано найбільше інформації за всю історію ДЗЗ. Програма Landsat є американським проектом, за яким перший супут-

ник був запусканий ще у 1972 році. Всього за цією програмою було задіяно 8 космічних апаратів. Щоб забезпечити безперебійне постачання знімками поверхні планети, всі ШСЗ були запуснені поступово на зміну тим супутникам Landsat, які вже відпрацювали відведений для них час і згодом мали вийти з експлуатації. Нині на орбіті знаходяться два супутники цієї програми: Landsat 7 і Landsat 8.

Landsat 7 [8] був запусканий у 1999 році і виведений на висоту біля 700 км над рівнем моря. Його орбіта є сонячно-синхронною приполярною, через що він постійно перебуває над освітленою територією поверхні Землі. Період охоплення всієї площі земної поверхні становить 16 діб. Система отримання ДДЗ, розташована на борту Landsat 7, являє собою удосконалений тематичний картограф (Enhanced Thematic Mapper Plus – ETM+), для якого характерна смуга захоплення знімків довжиною 185 км. Завдяки йому Landsat 7 отримує зображення земної поверхні у 8 спектральних каналах видимого (синій, зелений, червоний), ближнього IR (Near Infrared, NIR), середнього IR (Short Wavelength Infrared, SWIR 1 та SWIR 2), дальнього IR (Thermal Infrared, TIR) та панхроматичного каналів. Просторова роздільна здатність ETM+ для смуги пропускання дальнього інфрачервоного випромінювання найбільша – приблизно 60 м. Що стосується панхроматичного каналу, то мінімальний розмір об'єктів, які можна вмістити в піксель такого зображення, становить всього 15 м. Для всіх інших каналів ETM+ просторова роздільна здатність – 30 м. Це дозволяє отримувати знімки місцевості з ПРЗ 15 м. Таким чином, зазначені характеристики дозволяють проводити дослідження морів та океанів, атмосфери, льодовиків, рослинності, ґрунтів, гірських порід, температури доквілля тощо в межах від великих територій локального моніторингу до територій регіонального рівня. Отримати знімки з Landsat 7 можна безкоштовно, наприклад, з веб-сервісу EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), але для їх завантаження необхідна обов'язкова реєстрація. Наявність вільного доступу до архівів зі знімками Landsat 7 зумовлюють активне їх використання всіма найбільш популярними картографічними системами (Google Карти і Google Earth, Bing Maps, Яндекс.Карти та ін.) для масштабів карт, коли не важливий високий рівень деталізації об'єктів на місцевості.

Космічний апарат Landsat 8 [9] є наступником Landsat 7. Сканування поверхні Землі вони здійснюють приблизно з однакової висоти. До того ж довжини всіх робочих спектральних діапазонів Landsat 7, а також їхня ПРЗ повністю збігаються зі своїм послідовником. Landsat 8 розпочав свою роботу у 2013 році і відтоді виконує зйомку близько 400 знімків щоденно при інтервалі повторень зйомки супутника в 16 діб. Новий ШСЗ обладнаний корисним навантаженням у вигляді таких інструментів, як оперативний блок формування зображень Землі (Operational Land Imager, OLI) та датчик теплового випромінювання (Thermal InfraRed Sensor, TIRS). За допомогою такої оптико-електронної апаратури Landsat 8 може отримати зображення земної поверхні в 11 спектральних каналах (на 3 більше, ніж у Landsat 7). OLI дозволяє одержати геодані у 9 спектральних діапазонах видимого (фіолетовий, синій, зелений/жовтий, червоний), ближнього IR (NIR), середнього IR (SWIR, SWIR 1, SWIR 2) випромінювання та панхроматичному режимі. TIRS забезпечує отримання знімків додатково у 2 діапазонах дальнього IR спектра (TIR 1, TIR 2). Просторова роздільна здатність знімків, зроблених за допомогою OLI, у панхроматичному каналі становить 15 м, а у всіх інших – 30 м. Що стосується дальнього IR каналу, то його ПРЗ – 100 м. Підтримка такої високої роздільної здатності зумовлює використання зображень з Landsat 8 з тою ж метою, що і знімків Landsat 7. Отримати геоінформаційні матеріали з більш нового ШСЗ можна аналогічно з веб-сервісу EarthExplorer Геологічної служби США.

Проект Copernicus на сьогодні є найбільш масштабною програмою спостережень за поверхнею Землі. Управлінням космічної технічної бази та отриманням інформаційної складової цього проекту займається Європейське космічне агентство (European Space

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Agency, ESA). Нині Copernicus включає більше 30 космічних апаратів. Серед них найбільший інтерес для досліджень поверхні Землі становлять космічні платформи місії Sentinel-2 [10], яка включає супутник Sentinel-2A, який був запущений у 2015 році, та Sentinel-2B, що планується до запуску у березні 2017 року. Підвищена зацікавленість до цих космічних апаратів виникає через вільний доступ до отриманих ними даних, достатньо високу ПРЗ та часту періодичність повторення зйомки відповідних територій. Sentinel-2A має сонячно-синхронну орбіту та обертається навколо Землі на висоті близько 790 км. На своєму борту супутник має корисне навантаження у вигляді мультиспектрального інструмента (Multi-Spectral Instrument, MSI), що забезпечує зйомку в 13 спектральних каналах. Сканування земної поверхні відбувається з просторовою роздільною здатністю 10 м (для 3 каналів видимого та 1 каналу ближнього IR спектра), 20 м (для 4 каналів видимого червоного та 2 каналів середнього IR спектра) та 60 м (по 1 каналу для видимого, ближнього IR та короткохвильового IR спектра). Довжина території захоплення за один знімок для MSI становить 290 км, а періодичність зйомки відповідної території – 5 діб. Таким чином, отримати дані з певної місцевості можна раз за 2,5 доби або ще частіше завдяки перекриттю знімків, зйомкам під різними кутами та при збільшенні широти. За умови обов'язкової реєстрації геопросторові дані з MSI можна отримати безкоштовно з веб-сервісу Sentinels Scientific Data Hub, що управляється Європейським космічним агенством, за посиланням <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>. Сканування Землі з Sentinel-2A наразі покриває області дослідження суходолу, океанів та атмосфери і в основному забезпечує допомогу під час виконання таких завдань, як виявлення снігового та змін рослинного покриву, відстеження дії та наслідків стихійних лих, моніторинг за станом лісних та сільськогосподарських угідь, а також забрудненням прибережних та вод відкритого моря.

5. Огляд джерел здійснення космічної зйомки поверхні Землі з дуже високою ПРЗ.

Проект SPOT, започаткований Національним центром космічних досліджень Франції (CNES), є наступною за Landsat найтривалішою програмою ДЗЗ, яка функціонує досі. Вперше супутник SPOT [11] був виведений на орбіту в 1986 році. З того часу було використано всього 7 супутників для отримання знімків із земної поверхні, кожен з яких мав сонячно-синхронну орбіту. Всі вони були запущені послідовно на зміну відпрацьованим попередникам програми SPOT. Сьогодні свою діяльність продовжують 2 із 7 космічних апаратів: SPOT 6 та SPOT 7 (перейменований через зміну власника, тепер має назву Azersky), що мають однакову орбіту з різницею в 180° за фазовим кутом та в поєднанні з супутниками Pleiades, центром управління яких також є CNES і які знаходяться на цій же орбіті та мають відставання від них у 90° , забезпечують зйомку певної місцевості двічі на добу (для більшості, але не всієї поверхні Землі). Без кооперації з космічними комплексами Pleiades періодичність зйомки становлять від одного до трьох днів для кожного супутника залежно від широти місцевості і щодня, коли враховуються знімки одночасно з двох супутників.

SPOT 6 та Azersky мають ідентичні оптико-електронні системи, ширина смуги захоплення яких становить 60 км. Повний цикл повторення зйомки супутників становить 26 діб. Працюють вони в 5 спектральних каналах: панхроматичному, видимому (синій, зелений, червоний) та ближньому IR. Просторова роздільна здатність знімальної апаратури становить 1,5 м у панхроматичному режимі і 6 м у мультиспектральному. Такі дані можна використовувати для дослідження морів та океанів, атмосфери, льодовиків, рослинності, ґрунтів, гірських порід та ін. Нині знімки супутників SPOT використовуються для створення та оновлення топографічних середньомасштабних карт, контролю за районами сільськогосподарських та лісогосподарських насаджень, моніторингу екологічного стану довкілля і т. ін. Отримати геоінформаційні матеріали зі SPOT можна,

оформивши замовлення на офіційному сайті Spot Image у веб-сервісі GeoStore за посиланням <http://www.intelligence-airbusds.com/geostore/>, вартість знімків при цьому коливається в межах 2,9–8,4 € за 1 км² на знімки з 6-метровим ПРЗ та 0,9 € за 1 км² за зображення з 1,5-метровим ПРЗ.

6. Огляд джерел здійснення космічної зйомки поверхні Землі з надвисокою ПРЗ.

Національний центр космічних досліджень Франції запустив ще одну програму дистанційного зондування на початку 2000-х років під назвою Pleiades High Resolution. Нині вона представлена двома ідентичними за оснащенням космічними апаратами Pleiades-1A та Pleiades-1B [12], що мають однакові орбіти та відрізняються лише різницею фазового кута в 180°. Кожен з них виконує за добу практично 14,5 витків навколо Землі, при цьому вони відзначаються вагомою здатністю до маневрування (супутники можуть відхилитися вздовж своєї траєкторії польоту на відстань 800 км всього за 25 секунд). Робота в парі таких ШСЗ з орбітальною та технічною спорідненістю забезпечує щоденну зйомку досліджуваних ділянок земної поверхні. Сканування вказаних сцен проводиться з шириною захоплення 20 км. Фіксування поверхні Землі відбувається у 4 каналах мультиспектрального (синій, зелений, червоний та ближній IR) та одному каналі панхроматичного режиму. Для перших ПРЗ становить 2,8 м (2 м після опрацювання), для другого – 0,7 м (0,5 м після обробки). Такі показники забезпечують практичне використання знімків Pleiades для створення та оновлення топографічних карт великого масштабу, розробки проектів з облаштування муніципальних районів та розвитку міст, моніторингу за станом транспортних комунікацій, спостереження стихійних лих та ліквідації їх наслідків, інвентаризації лісогосподарських угідь, забезпечення ведення точного землеробства та ін. Придбати продукцію із супутників Pleiades можна на офіційному сайті Spot Image за ціною 23 \$ за кожне зображення.

Крім того, на сьогодні досить високою популярністю користуються знімки таких ШСЗ з надвисоким ПРЗ, як IKONOS, QuickBird, космічні апарати серій WorldView та GeoEye, права на розповсюдження результатів ДЗЗ з яких належать американським компаніям DigitalGlobe та GeoEye. Найстаршим з них є космічний апарат IKONOS, який був запущений ще у 1999 році, з революційною на той час просторовою роздільною здатністю 3,28 м для каналів мультиспектрального режиму та 0,82 м – для панхроматичного, але цей супутник пропрацював до 2015 року і був виведений оператором зі стану обслуговування. Ще один космічний апарат, який був послідовником IKONOS (запуск провели у 2001 році) та мав ще кращі характеристики ПРЗ (2,44 м у мультиспектральному та 0,61 м у панхроматичному режимі) – космічний апарат QuickBird, але він також був виведений з експлуатації у 2015 році.

Натомість до сьогодні надходять знімки надвисокої роздільної здатності з чотирьох супутників WorldView [13], перший з яких був виведений на орбіту ще у 2007 році. WorldView-1 та WorldView-2 мають смугу захоплення 16 км та 14,5 км відповідно. Перший має 5 спектральних смуг пропускання (синя, зелена, червона, ближня інфрачервона NIR-1 та панхроматична), другий – 9 (додатково фіолетова, жовта, крайня червона та ближня інфрачервона NIR-2). Для мультиспектральних каналів зйомки ПРЗ становить 1,8 м, для панхроматичного режиму коливається у межах 0,45–0,46 м. Натомість космічні апарати WorldView-3 та WorldView-4 являють собою ШСЗ наступного покоління цієї серії та мають ще більш точні характеристики деталізації: роздільна здатність мультиспектральних каналів становить 1,24 м та 1,36 м, а в панхроматичному режимі – 0,31 м та 0,34 м відповідно. При цьому, якщо спектральні зони у WorldView-4 аналогічні тим, що є у WorldView-1, то кількість каналів у WorldView-3 значно збільшили – крім одного каналу панхроматичного режиму та 8 каналів мультиспектрального режиму, наявні ще 8 інтервалів багатосмугового режиму в середньому IR діапазоні з роздільною здатністю 3,7 м

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

та 12 спектральних смуг прибору визначення запиленості атмосфери з ПРЗ 30 м. Смуга захоплення для WorldView-3 становить 13,1 км, а для WorldView-4 – 14,5 км. Супутники WorldView забезпечують зйомку вказаних ділянок земної поверхні з періодичністю 1 раз на добу. Космічні зображення з платформ ДЗЗ серії WorldView успішно застосовуються для картографування, слідкування за змінами на поверхні Землі, сільськогосподарського моніторингу, відстеження районів ураження стихійними лихами, вимірювання характеристик атмосфери та ін. Отримати знімки з цих космічних апаратів можна на офіційному сайті DigitalGlobe за ціною 24–29 \$ за кожний.

Також одним з передових діючих на сьогодні ШСЗ є GeoEye-1 [14], смуга захвату якого становить 15,2 км. Його спектральні діапазони зйомки ідентичні до WorldView-4. Відмінність між ними полягає лише у незначній різниці просторової роздільної здатності: для GeoEye-1 вона становить 1,65 м для вузьких спектральних зон та 0,41 м для панхроматичних зображень. Цей космічний комплекс здатен проводити сканування вказаних територій з періодичністю 1 раз на 3 доби. Такі особливості GeoEye-1 зумовлюють використання його матеріалів аерокосмічного зондування для вирішення таких завдань, як створення та оновлення топографічних карт великого масштабу, контролю забудов та землекористування, проведення моніторингу за станом інфраструктурних мереж та лісогосподарських і сільськогосподарських угідь, забезпечення оборони та безпеки і т. ін. Придбати геоінформаційні дані з космічного апарата GeoEye-1 можна на офіційному сайті GeoEye за плату близько 24–27,5 \$ за знімок.

7. Порівняння вищезгаданих видів проведення ДЗЗ.

Таким чином, було розглянуто основні інструменти отримання космічних знімків поверхні Землі різних класів за просторовою роздільною здатністю. Основні їхні характеристики наведено у таблиці.

Таблиця

Основні характеристики найбільш передових інструментів космічної зйомки

Супутник (оптично-електронна система)	Смуга захоплення, км	Повторюваність зйомки певної земної ділянки	Кількість спектральних каналів	ПРЗ панхроматичного каналу, м	ПРЗ мульти-спектрального каналу, м	Приблизна вартість знімка
1	2	3	4	5	6	7
Низька просторова роздільна здатність (>1 км)						
NOAA (AVHRR)	2580	>4 раз/добу	4–6	–	1100–4000	0
Середня просторова роздільна здатність (100–1000 м)						
Terra (MODIS)	2330	1–2 доби (доступні за кожні 6–8 діб)	36	–	250, 500, 1000	0
Висока просторова роздільна здатність (10–100 м)						
Terra (ASTER)	60	<16 діб	14	–	30, 90	80 \$
Landsat 7	185	<16 діб	8	15	30, 60	0
Landsat 8	185	<16 діб	11	15	30, 100	0
Sentinel-2A (MSI)	290	Приблизно 2,5–5 діб	13	–	10, 20, 60	0
Дуже висока просторова роздільна здатність (1–10 м)						
SPOT 6 / Azersky	60	1–3 доби	5	1,5	6	0,9 €/км ² , 2,9–8,4 €/км ²
Надвисока просторова роздільна здатність (30–90 см)						
Pleiades-1A / Pleiades 1B	20	1 раз/добу	5	0,7 (0,5)	2,8 (2)	23 €
WorldView-1	16	1 раз/добу	5	0,45	1,8	24–27,5 €

1	2	3	4	5	6	7
WorldView-2	16,4	1 раз/добу	9	0,46	1,8	24–27,5 €
WorldView-3	13,1	1 раз/добу	29	0,31	1,24	24–27,5 €
WorldView-4	14,5	1 раз/добу	5	0,34	1,36	24–27,5 €
GeoEye-1	15,2	3 доби	5	0,41	1,65	24–27,5 €

Висновки. У цій статті було розглянуто основні існуючі на сьогодні інструменти здійснення дистанційного зондування Землі з космічних бортів. Було проведено їх огляд та зіставлення за основними ознаками з метою виокремлення найбільш відповідних та доступних варіантів за класами просторової роздільної здатності. Представлений порівняльний аналіз допоможе як фахівцям, так і пересічним користувачам полегшити вибір необхідної та найбільш прийнятної продукції космічних зйомок для вирішення їх нагальних завдань.

Список використаних джерел

1. Aggarwal S. Principles of Remote Sensing / S. Aggarwal // *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology : Proceedings of a Training Workshop, 7–11 July 2003.* – Dehra Dun, India, 2004. – Pp. 23–38.
2. Критерии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования / В. Н. Адров, Ю. И. Карионов, П. С. Титаров, А. Д. Чекурин. – М. : Ракурс, 2004. – 10 с.
3. Carfagna E. Cost-effectiveness of Remote Sensing in Agricultural and Environmental Statistics / E. Carfagna // *Proceedings of the Conference on Agricultural and Environmental Statistical Applications in Rome (CAESAR), 5–7 June 2001.* – Vol. 3. – Pp. 618–627.
4. Воробьева А. А. Дистанционное зондирование Земли / А. А. Воробьева. – СПб. : СПбУ ИТМО, 2012. – 168 с.
5. AVHRR [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.nsof.class.noaa.gov/data_available/avhrr/index.htm.
6. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://eoweb.dlr.de:8080/short_guide/D-MODIS.html.
7. ASTER Satellite Sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/aster/>.
8. LandSat 7 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/LandSat-7>.
9. LandSat-8 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/LandSat-8>.
10. Copernicus: Sentinel-2 — The Optical Imaging Mission for Land Services [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>.
11. SPOT-6 and SPOT-7 Commercial Imaging Constellation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/spot-6-7>.
12. Pleiades-1A, 1B [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://innoter.com/satellites/924>.
13. Спутник ДЗЗ. Все спутники ДЗЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ecoruspace.me/WorldView-1.html>.
14. GeoEye-1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.racurs.ru/?page=456>.

References

1. Aggarwal, S. (2004). Principles of Remote Sensing. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology: Proceedings of a Training Workshop, 7–11 July 2003.* Dehra Dun, India, pp. 23–38.
2. Adrov, V.N., Karionov, Iu.I., Titarov, P.S., Chekurin, A.D. (2004). *Kriterii vybora dannykh DZZ dlia topograficheskogo kartografirovaniia [Criteria of Remote Sensing Data Choice for topographic mapping]*. Moscow: Rakurs (in Russian).
3. Carfagna, E. (5–7 June 2001). Cost-effectiveness of Remote Sensing in Agricultural and Environmental Statistics. *Proceedings of the Conference on Agricultural and Environmental Statistical Applications in Rome (CAESAR)*, vol. 3, pp. 618–627.
4. Vorobeve, A.A. (2012). *Distantcionnoe zondirovanie Zemli [Remote Sensing]*. St. Petersburg: SPbU ITMO (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. *AVHRR*. Retrieved from https://www.nsof.class.noaa.gov/data_available/avhrr/index.htm.
6. *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. Retrieved from http://eoweb.dlr.de:8080/short_guide/D-MODIS.html.
7. *ASTER Satellite Sensor*. Retrieved from <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/aster/>.
8. *LandSat 7*. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/LandSat-7> (in Russian).
9. *LandSat-8*. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/LandSat-8> (in Russian).
10. *Copernicus: Sentinel-2 – The Optical Imaging Mission for Land Services*. Retrieved from <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>.
11. *SPOT-6 and SPOT-7 Commercial Imaging Constellation*. Retrieved from <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/spot-6-7>.
12. *Pleiades-1A, 1B*. Retrieved from <https://innoter.com/satellites/924>.
13. *Sputnik DZZ. Vse sputniki DZZ [Remote Sensing Satellite. All Remote Sensing Satellites]*. Retrieved from <http://ecoruspace.me/WorldView-1.html> (in Russian).
14. *GeoEye-1*. Retrieved from <http://www.racurs.ru/?page=456> (in Russian).

Литвинов Віталій Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Литвинов Виталий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Lytvynov Vitalii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Information Technologies and Programming Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vlitvin@ukrsoft.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9622-3871>

ResearcherID: F-6120-2014

Житник Олег Едуардович – аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Житник Олег Эдуардович – аспирант, ассистент кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Zhytnyk Oleh – PhD student, assistant of the Information Technologies and Programming Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: zhytnykoleh@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2792-3820>

ResearcherID: F-6311-2016

УДК 004.9

*Андрій Акименко, Сергій Нестеренко***UML-МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМ АВІАЦІЙНИМ КОМПЛЕКСОМ***Андрей Акименко, Сергей Нестеренко***UML-МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ АВИАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ***Andrii Akymenko, Sergii Nesterenko***UML-MODEL CONTROL SYSTEM UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS**

Розглянуто систему управління безпілотним авіаційним комплексом (БпАК). Розроблено діаграми, що описують функціонування безпілотного літального апарата (БПЛА) засобами мови UML. Поведінку системи управління БпАК представлено у вигляді діаграми станів. Узагальнено основні принципи побудови системи управління безпілотним авіаційним комплексом.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, безпілотні авіаційні комплекси, система управління БпАК, об'єктно-орієнтоване проектування.

Рис.: 5. Бібл.: 5.

Рассмотрена система управления беспилотным авиационным комплексом (БпАК). Разработаны диаграммы, описывающие функционирование беспилотного летательного аппарата (БПЛА) средствами языка UML. Поведение системы управления БпАК представлено в виде диаграммы состояний. Обобщены основные принципы построения системы управления беспилотным авиационным комплексом.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, беспилотные авиационные комплексы, система управления БпАК, объектно-ориентированное проектирование.

Рис.: 5. Библ.: 5.

This article discusses the system of unmanned aviation systems (UAS). Developed diagrams describing the operation of unmanned aerial vehicle (UAV) by means of language UML. Behavior management UAS presented in a state diagram. Overview basic principles of the system of unmanned aviation systems.

Key words: drones, unmanned aircraft systems, system management UAS, object-oriented design.

Fig.: 5. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. Безпілотні авіаційні комплекси (БпАК), що включають до свого складу безпілотні літальні апарати (БПЛА) та наземну станцію керування, стають все більш популярними у різноманітних галузях людської діяльності. Незважаючи на те, що БПЛА розробляються головним чином для військових цілей, стає очевидним, що є багато інших галузей, де вони могли б виявитися корисними. Наприклад, сільське господарство, де БПЛА можуть бути використані для польових спостережень або для розподілу хімічних речовин. БПЛА можуть патрулювати великі лісові масиви, використовуватись у картографічних роботах або ж вони можуть бути використані для спостереження за рухом у великих містах. У картографії малі БПЛА можуть бути використані для автоматичного фотографування ландшафту, будучи набагато більш економічно ефективними в порівнянні з традиційною повітряною технологією миттєвих знімків. Цікавим є застосування БПЛА і для наукових досліджень, оскільки вони можуть бути використані як літаючі лабораторії, полігони для алгоритмів управління, або як інструменти освіти для студентів.

Таким чином, сьогодні зростає попит на системи управління БпАК, а також на проекти – комерційні або наукові – розробки БпАК. У цій галузі досягнуто вже багато серйозних результатів і створено кілька БпАК, з різним ступенем автономності, що використовуються під час вирішення різноманітних завдань. На жаль, інформація щодо БпАК та БПЛА неохоче оприлюднюється розробниками. Особливо це стосується технічної документації, що описує систему управління.

До того ж реальні системи дуже часто піддаються випадковим впливам, що може змінити поведінку системи управління непередбачуваним чином і, відповідно, у таких випадках необхідну ефективність дослідження можливо отримати тільки у процесі вивчення моделі.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Таким чином, моделювання як загальний метод дає такі переваги:

- а) дозволяє вирішувати складні завдання;
- б) досліджує особливості функціонування реальної системи у різних умовах експлуатації;
- в) скорочує вартість проектування та випробувань.

Як показує практичний досвід, чим складніше система, тим важче описати всі аспекти системи, що моделюється. Звідси випливає висновок: моделювати складну систему слід з кількох різних поглядів, кожен раз беручи до уваги один аспект моделювання й абстрагуючись від інших. Це один з головних принципів UML-моделювання.

Отже, використання уніфікованої мови моделювання UML для опису складних технічних систем є досить ефективним. Моделі UML наочно показують структуру і поведінку модельованої системи, що дозволяє краще зрозуміти процес її функціонування. Мова UML дає можливість розглянути систему з усіх аспектів, що мають відношення до її розробки і подальшого розгортання й аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До цього часу в науковій літературі описано безліч підходів до побудови систем управління безпілотними апаратами [1; 2]. Існують певні спроби стандартизації в цій галузі. Традиційно в робототехніці і суміжних дисциплінах під системами управління розуміються дворівневі системи, що складаються з деліберативного та реактивного рівнів управління. На реактивному рівні вирішуються базові завдання, пов'язані з утриманням заданих параметрів об'єкта управління (швидкість, кутове положення і т. ін.). Ці завдання мають найвищий пріоритет, і зазвичай їх вирішення проводиться в режимі реального часу безпосередньо на бортовому обчислювачі об'єкта управління (в цьому випадку – на бортовому обчислювачі безпілотного літального апарату). При цьому реактивний рівень управління «замкнений» на виконавчі механізми БПЛА. Також саме на цьому рівні проводиться первинне оброблення інформації, що надходить з датчиків БПЛА. Дані, необхідні безпосередньо для вирішення поточних завдань, використовуються програмними модулями рівня управління, решта інформації передається на деліберативний та інтелектуальний рівні [3].

На вищевказаних рівнях вирішується багато завдань – постановка цілей, визначення їх пріоритетів, прогнозування, планування тощо. Саме різноманітністю завдань обумовлюється перелік функцій, що покладені на систему управління сучасними безпілотними літальними апаратами:

- 1) стратегічний (верхній) рівень управління, відповідальний за постановку і вибір цілей, прогнозування, високорівневу обробку інформації;
- 2) тактичний (проміжний) рівень управління, відповідальний за розпізнавання образів, побудова карти місцевості, планування траєкторії;
- 3) рівень управління (нижній рівень), відповідальний за витримування параметрів управління виконавчими механізмами.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою цієї статті є опис UML-моделі системи управління безпілотним авіаційним комплексом, що дозволить уніфікувати та узагальнити вже відомі напрацювання в галузі розробки БпАК. Це дає можливість створити мовно-незалежну платформу для розроблення програмного забезпечення системи управління БпАК та оцінювання його якості та відповідності проектним вимогам.

Структурна схема безпілотного авіаційного комплексу. Безпілотний авіаційний комплекс керує безпілотним літальним апаратом, який виконує автономний політ по введених перед стартом на борт БПЛА програмі, що передбачає виконання координатного чи координатно-часового графіка. Крім того, широке розповсюдження отримав термін «дистанційно-пілотований», що означає БПЛА, що керується за допомогою радіокоманд.

Аналіз існуючих і перспективних розробок показав, що для забезпечення гнучкості під час експлуатації БПЛА реалізується й автоматичний, і дистанційний режим керування літальним апаратом.

Слід відзначити, що в наявній на сьогодні літературі відсутній загальноприйнятий склад компонентів БпАК. На рис. 1 наведено узагальнену структуру безпілотного комплексу як складної апаратно-програмної системи. Структурна схема розроблена на підставі узагальнення інформації про існуючі та перспективні розробки в цій галузі. Очевидно, що вирішення завдань залежить від ефективної взаємодії всіх компонентів, які за своєю природою є механічними, радіоелектронними, електромеханічними, електронними та програмними.

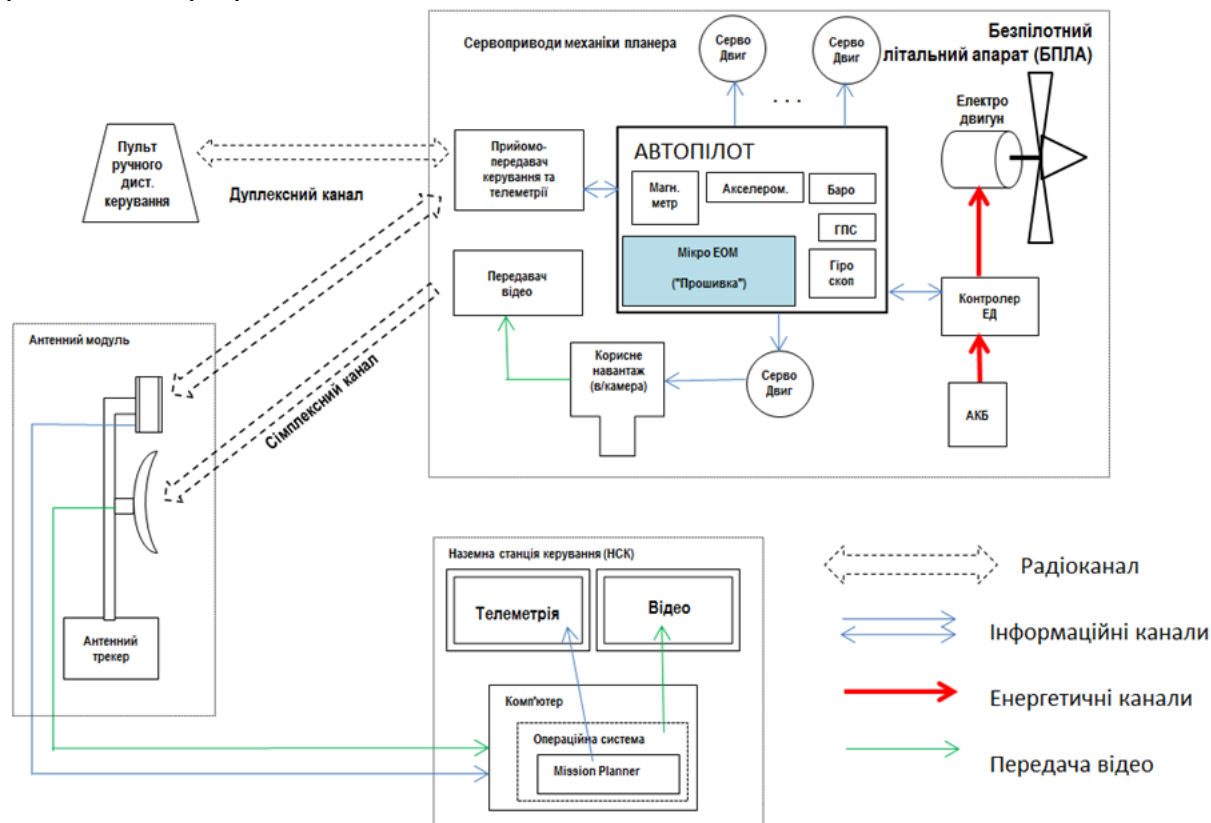


Рис. 1. Структурна схема безпілотного авіаційного комплексу

Ефективне функціонування безпілотних літальних апаратів та комплексу загалом забезпечується системою управління, перед якою поставлені такі завдання:

- забезпечення необхідних динамічних характеристик БПЛА;
- стабілізація БПЛА у тривимірному просторі;
- автоматичне утримання на траєкторії місії.

Ці завдання вимагають від системи управління БпАК наявності певних властивостей. В інженерному контексті інтелектуальне управління БПЛА має володіти такими характеристиками:

- по-перше, стійкість (живучість),
- по-друге, адаптивність;
- по-третє, масштабованість (здатність до нарощування функціоналу);
- по-четверте, автономність.

Структурна схема системи управління включає дві основні компоненти. Перша – це сам планер та комплекс апаратно-програмних засобів, наявних на його борту, який забезпечує всі режими польоту і виконання поставлених завдань. Друга компонента – наземна станція керування, яка видає команди управління та відслідковує їх виконання.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Крім того, можуть видаватися інші незалежні команди управління для перепрограмування БПЛА при управлінні іншими функціями.

БПЛА має радіоканал зв'язку з наземною апаратурою управління.

Сам літальний апарат, як об'єкт управління, кермові приводи органів управління та наземна апаратура утворюють систему управління безпілотного авіаційного комплексу.

Функціональна модель БпАК

Бортова і наземна апаратура системи управління повинна забезпечити такі режими роботи БПЛА:

- зліт і посадка в автоматичному режимі (можливі також ручний режим зльоту і посадки з керуванням по радіоканалу оператором);
- політ у напіваавтоматичному режимі з управлінням по радіоканалу з коригуванням дій оператора бортовою апаратурою управління;
- політ в автоматичному режимі по контрольних точках з одночасним надсиланням телеметрії на наземну апаратуру управління.

У ручному режимі оператор, візуально оцінюючи поведінку та стан БПЛА, за допомогою системи управління має можливість керувати апаратом. Напіваавтоматичний режим можливий у радіусі дії радіоканалу, який залежить від якостей радіоапаратури, що підключена до БпАК.

Напіваавтоматичний режим управління (пілотування) у цьому випадку здійснюється за допомогою інформації про просторове положення БПЛА, одержаної по радіоканалу, і відображається на віртуальній приладовій панелі. Дії оператора в цьому режимі управління коригуються системою управління, яка виконує функції автопілота, що не допускає потенційно небезпечних параметрів руху БПЛА.

У напіваавтоматичному режимі система управління забезпечує два інформаційні потоки через радіоканал:

- від блока ручного управління до пристрою управління автопілота;
- від датчиків і системи орієнтації через модуль навігатор, інтерфейс телеметрії на пристрій візуалізації параметрів польоту.

У напіваавтоматичному режимі польоту БПЛА модуль автопілота здійснює контроль за командами наземної апаратури:

- отримує по радіоканалу команду;
- отримує поточну інформацію про кутову орієнтацію БПЛА і кутові швидкості від системи орієнтації. За необхідності автопілот виконує власні алгоритми для стабілізації БПЛА.

Автоматичний режим – це забезпечення польоту за наперед заданим маршрутом. У такому режимі можлива відсутність радіозв'язку з апаратурою управління і зв'язку.

Зазначений режим польоту включається автоматично, коли БПЛА виходить із зони дії радіоканалу.

При цьому команди від наземної апаратури ігноруються. В цьому режимі польоту за показниками систем орієнтації і навігації та датчиків здійснюється автоматичне керування висотою і швидкістю польоту, курсом, можливо також управління відхиленням від заданої траєкторії.

В автоматичному режимі польоту керування здійснюється за принципом «наведення – стабілізація». Навігатор БПЛА генерує команду наведення, яка транслюється автопілоту.

Автопілот виконує завдання зі стабілізації, оброблює команду наведення і забезпечує стійкості руху за допомогою вироблення команд управління двигуном та органами управління. В разі перевищення заданих порогів (по кутах і кутових швидкостях) буде віддана команда стабілізації режиму горизонтального польоту, що виробляється алго-

ритмом автопілота. В автоматичному режимі на модуль навігатора покладено завдання періодично перевіряти наявність зв'язку по радіоканалу. У разі його наявності модуль навігатора посилає дані телеметрії на землю. Основні функції системи управління БПЛА в напіваавтоматичному й автоматичному режимах виконує автопілот.

Повністю автоматичне управління БПЛА можливо за наявності двох складових. По-перше, інформації про поточний стан літального апарату в просторі, а по-друге, інформації про заданий рух БПЛА. Траєкторне управління БПЛА різного призначення може бути командним (за командами, що надходять ззовні), програмним (траєкторія сформована і задається на борту у вигляді часових залежностей), адаптивним та термінальним, за якого управління здійснюється для досягнення кінцевого результату.

Крім траєкторного управління, здебільшого, здійснюються кутова стабілізація і управління кутовим положенням БПЛА. Найважливішими завданнями при цьому є: забезпечення стійкості руху при всіх режимах польоту з урахуванням можливих збурень, відхилень вихідних даних; досягнення точності виконання завдання; забезпечення живучості управління при збуреннях, викликаних зовнішнім впливом на систему управління.

При польоті в автоматичному режимі БПЛА повинен літати на малих висотах з оглядом на рельєфу місцевості. При цьому повинна бути забезпечена точність підтримки висоти. Також повинні бути передбачені варіанти виходу з критичних режимів польоту, наприклад, з критичного крену, який може виникнути внаслідок пориву вітру під час здійснення маневру з розвороту, і ухилення БПЛА від цілеспрямованих ворожих дій.

Наведений опис роботи системи управління безпілотним авіаційним комплексом дозволяє перейти до створення моделі БпАК засобами, що надає мова моделювання UML. Як зазначено в [4], нині UML є найпоширенішим засобом для проведення та оформлення результатів аналізу та проектування складних систем. Тому для представлення моделі системи управління БпАК обрано загальноприйнятну методологію відображення результатів роботи над проектом.

Враховуючи специфіку комплексу управління БпАК, а саме, його апаратно-програмну структуру, використання всіх діаграм, що включені в генеральну нотацію UML, не є необхідним.

Оскільки метою цієї статті є узагальнення існуючої інформації стосовно комплексів управління БПЛА та розробка моделі, що описує найбільш розповсюджену структуру системи управління БпАК, очевидним буде використання діаграм UML, які можуть бути задіяні не тільки в об'єктно-орієнтованій методології аналізу та проектування, а і дають можливість вивчати різні аспекти апаратно-програмних комплексів, не звужуючи рівень абстрагування до класів і об'єктів.

Такими діаграмами, на наш погляд, є діаграми:

- варіантів використання;
- станів;
- діяльності;
- компонентів;
- розміщення.

Діаграма варіантів використання, що описує функціональні можливості системи управління БпАК, наведена на рис. 2.

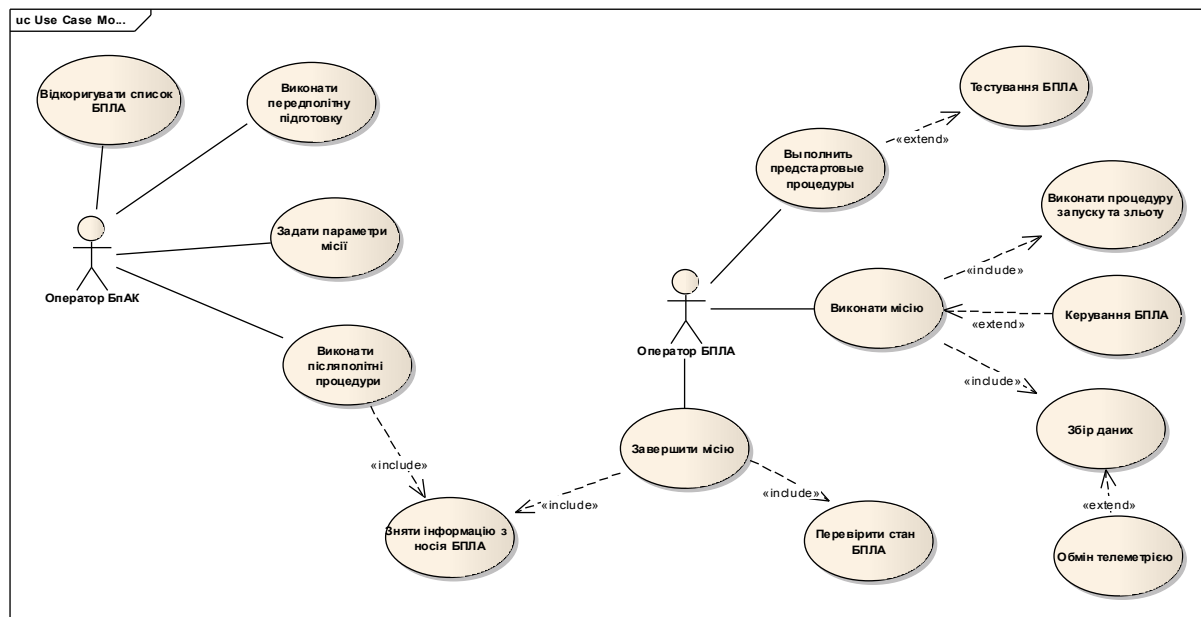


Рис. 2. Діаграма варіантів використання БпАК

Поведінка системи управління БпАК

Наступний крок у процесі розроблення моделі складної системи – вивчення її поведінки або поведінки підсистем, що входять до складу комплексу. Необхідно виділити у запропонованій моделі дві підсистеми, поведінку і, відповідно, цільове призначення яких можна відокремити одне від одного.

Діаграма станів на рис. 3 показує всі можливі стани, в яких може перебувати наземна станція керування системою управління БпАК, а також процес зміни станів у результаті зовнішнього впливу.

Інша підсистема, поведінка якої не менш важлива, – це сам безпілотний літальний апарат. Узагальнена модель поведінки представлена на рис. 4.

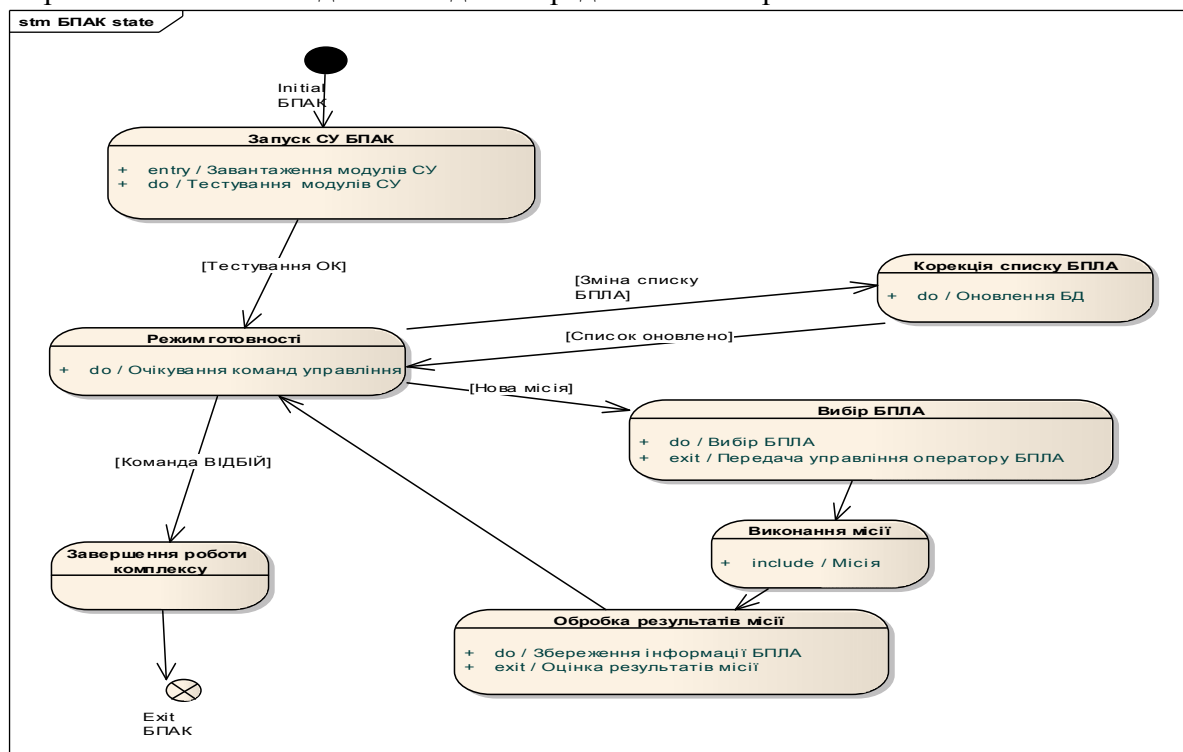


Рис. 3. Діаграма станів для наземної апаратури БпАК

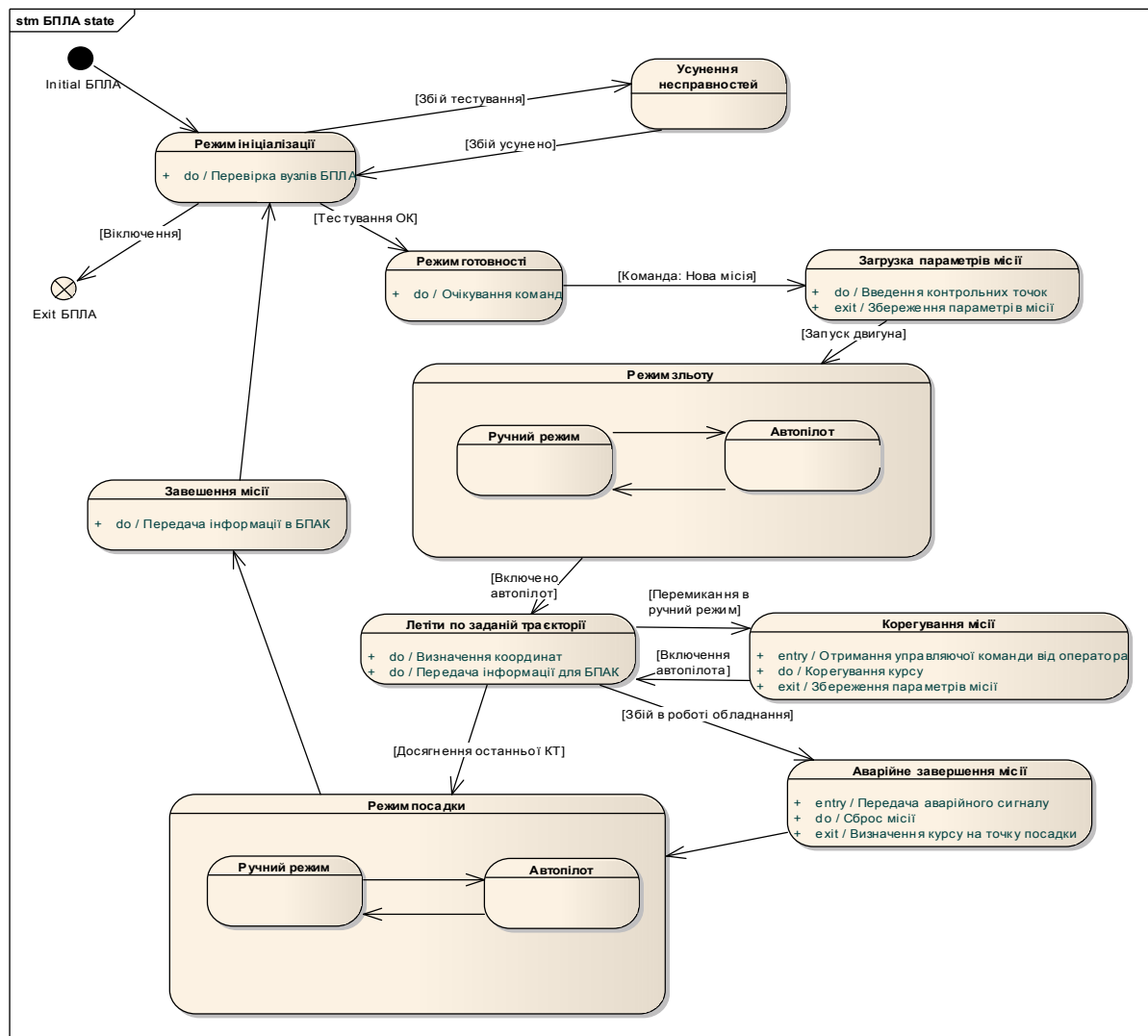


Рис. 4. Діаграма станів БПЛА

Діаграма діяльності корисна для опису алгоритму дій, але вона не дає уявлення про поведінку певного об'єкта в межах окремого випадку використання або системи в цілому, тому розробка діаграми діяльності, враховуючи що в межах цього дослідження буде створена узагальнена модель, не є необхідним, оскільки концентрує увагу на окремих або специфічних алгоритмах.

Компоненти системи управління БпАК

Основною метою розробки діаграми компонентів є відображення структурних зв'язків між компонентами системи. В UML компонентами вважаються автономні, інкапсульовані блоки всередині системи або підсистеми, які забезпечені одним або кількома інтерфейсами з іншими компонентами.

Ідея полягає в тому, що розробник має можливість повторно використовувати або змінити реалізацію одного компонента конструкції на іншу, оскільки компонент інкапсулює поведінку і реалізує необхідні інтерфейси.

У сучасній концепції UML компоненти-фізичні елементи мають назву «артефакт». Артефакт являє собою фізичну одиницю. Тільки артефакти знаходяться на фізичних вузлах або зв'язані ними.

Діаграма компонентів дозволяє розробнику перевірити, чи може відповідний набір артефактів правильно реалізувати функціонал системи, забезпечуючи тим самим її введення в експлуатацію.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Корисність схеми розміщення компонентів для розробника має ще один аспект, а саме, оскільки вона дає їм уявлення про систему на досить високому рівні абстрагування, описуючи архітектуру системи, діаграма допомагає формалізувати процес оцінювання якості кінцевого продукту, а також прийняти рішення про внесення змін до проекту для поліпшення кінцевого результату.

Узагальнюючи структуру системи, наведеної на рис. 1, а також її функціональні можливості, зображені на рис. 2-4, розроблено діаграму компонентів, що описує архітектуру системи управління БпАК (рис. 5).

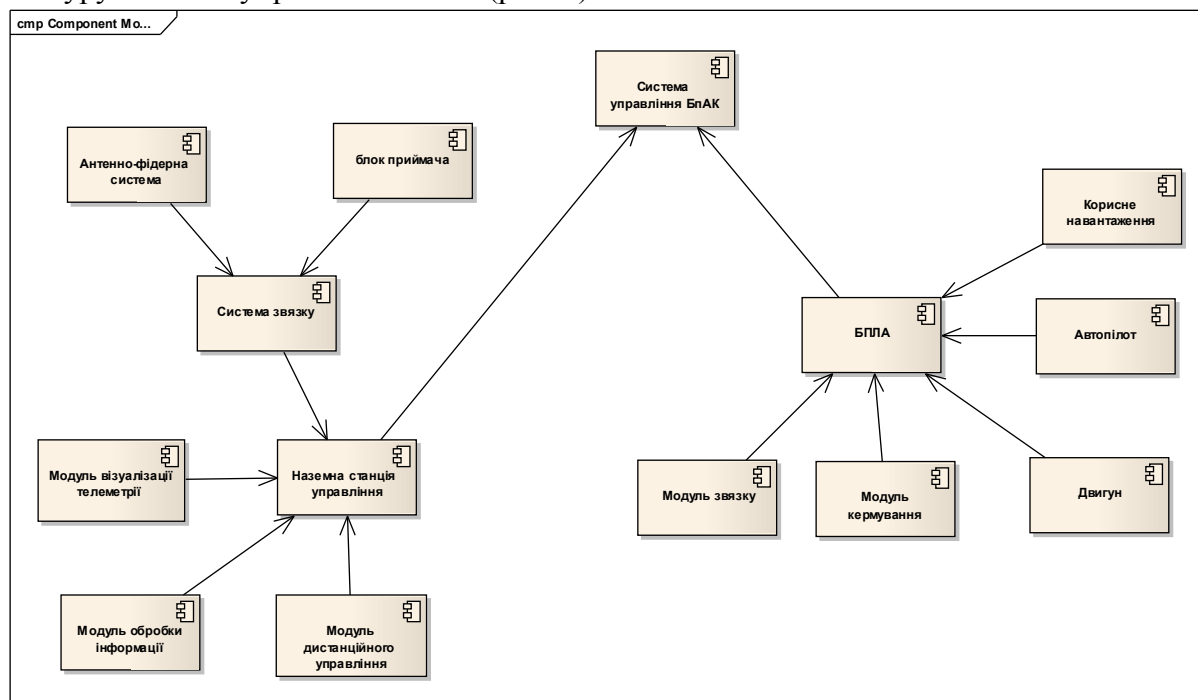


Рис. 5. Діаграма компонентів системи управління БпАК

В UML діаграма розгортання використовується для опису фізичної моделі архітектури системи. Діаграм розгортання показує взаємозв'язок між програмними й апаратними компонентами системи.

Діаграма розгортання показує фізичне розташування вузлів у розподіленій системі, артефактів, які зберігаються на кожному вузлі. Оскільки узагальнена архітектура системи не є складною, що чітко визначена на структурній схемі (рис. 1), безпосередньої необхідності розроблення діаграми немає.

Отже, до складу узагальненої моделі системи управління БпАК достатньо включити діаграму варіантів використання, діаграму станів та діаграму компонентів. Перелічені діаграми повністю описують функціональні та архітектурні особливості системи управління безпілотного авіаційного комплексу.

Висновки та пропозиції. Використання об'єктно-орієнтованої методології проведення аналізу дозволило, ґрунтуючись на стандартній структурній схемі системи управління, розробити узагальнену модель БпАК.

UML-діаграми повністю описують функціональні можливості та поведінку системи управління і її окремих складових.

За допомогою діаграми компонентів описано архітектуру системи управління БпАК, що дає можливість виділити основні складові комплексу, а також, взявши до уваги можливість введення якісних оцінок для кожного артефакту, перейти до питань, пов'язаних з проведенням якісного оцінювання БпАК, побудованого на вищевикладених принципах.

Список використаних джерел

1. Albus J. et al. 4D/Real-time Control System (4D/RCS): A Reference Model Architecture for Unmanned Vehicle Systems v2.0, NIST, NISTIR 6910, 2002.
2. Jameson S., Franke J., Szczerba R., Stockdale S. Collaborative Autonomy for Manned / Unmanned Teams. AHS International Forum 61. Grapevine. TX. 2005.
3. Функціональна стратифікація структур систем керування безпілотних авіаційних комплексів / С. Нестеренко, А. Акименко, О. Герасименко, Ю. Камак, М. Геращенко // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 2 (4). – С. 123–130.
4. Интеллектуальное управление транспортными средствами: стандарты, проекты, реализации / Г. С. Осипов, И. А. Тихомиров, В. М. Хачумов, К. С. Яковлев // Авиакосмическое приборостроение. – 2009. – № 6. – С. 34–43.
5. Акименко А. М. Використання UML під час проектування складних програмних систем / А. М. Акименко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : зб. – 2011. – № 49. – С. 164–170.

References

1. Albus J. et al. 4D/Real-time Control System (4D/RCS): A Reference Model Architecture for Unmanned Vehicle Systems v2.0, NIST, NISTIR 6910, 2002.
2. Jameson S., Franke J., Szczerba R., Stockdale S. Collaborative Autonomy for Manned/Unmanned Teams. AHS International Forum 61. Grapevine. TX. 2005.
3. Nesterenko, S., Akymenko, A., Herasymenko, O., Kamak, Yu., Herashchenko, M. (2016). Funktsionalna stratyfikatsiia struktur system keruvannia bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [Functional stratification structures control systems of unmanned aircraft systems]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, № 2 (4), pp. 123–130 (in Ukrainian).
4. Osipov, G.S., Tikhomirov, I.A., Khachumov, V.M., Iakovlev, K.S. (2009). Intellektualnoe upravlenie transportnymi sredstvami: standarty, proekty, realizacii [Intelligent vehicles: standards, projects implementation]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie – Aerospace instrumentation*, № 6, pp. 34–43 (in Russian).
5. Akymenko, A.M. (2011). Vykorystannia UML pid chas proektuvannia skladnykh prohramnykh system [Using UML in the design of complex software systems]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. "Technical Sciences"*, № 49, pp. 164–170 (in Ukrainian).

Акименко Андрій Миколайович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри інформаційних систем в економіці, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Акименко Андрей Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем в экономике, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Akymenko Andrii – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: anakim2@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4594-6559>

ResearcherID: J-1017-2016

Scopus Author ID: 25027136900

Нестеренко Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Нестеренко Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Nesterenko Sergii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: nesterenkosa@stu.cn.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4721-6883>

ResearcherID: F-5825-2014

Микола Гумен, Тамара Гумен

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ГАЗОПРОВІДІВ

Николай Гумен, Тамара Гумен

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГАЗОПРОВОДОВ

Mukola Humen, Tamara Humen

TELECOMMUNICATION SYSTEM OF GAS PIPELINES MONITORING

Розглянуто та проаналізовано засоби оперативної діагностики технічного стану трубопроводів газотранспортних систем. Запропоновано сенсорну телекомунікаційну систему, яка на базі сучасних мережних технологій у режимі реального виміру часу дає змогу виявити місця витіку газу на лінійних ділянках газопроводу. Система також забезпечує екологічний моніторинг довкілля, захист об'єкта діагностики від несанкціонованого доступу та обмін інформацією між діагностичним обладнанням, телекомунікаційними пристроями і центральним диспетчерським пунктом управління, аналізу і прийняття рішень.

Ключові слова: газопроводи, телекомунікаційна система, технічна діагностика, датчик, безпека експлуатації, бездротові мережні технології.

Табл.: 2. Рис.: 3. Бібл.: 10.

Рассмотрены и проанализированы средства оперативной диагностики технического состояния трубопроводов газотранспортных систем. Предложена сенсорная телекоммуникационная система, позволяющая на базе современных сетевых технологий в режиме реального времени выявлять места утечки газа на линейных участках газопровода. Система также обеспечивает экологический мониторинг окружающей среды, защиту объекта диагностики от несанкционированного доступа и обмен информацией между диагностическим оборудованием, телекоммуникационными устройствами и центральным диспетчерским пунктом управления, анализа и принятия решений.

Ключевые слова: газопроводы, телекоммуникационная система, техническая диагностика, датчик, безопасность эксплуатации, беспроводные сетевые технологии.

Табл.: 2. Рис.: 3. Библ.: 10.

Facilities of operative diagnostics the technical state of the gas-transport systems pipeline are considered and analysed. The sensory telecommunication system allowing on the base of modern network technologies real-time to reduce the places of outgassing on the linear areas gas pipeline is offered. The system also provides the ecological monitoring of environment, fetch protection of diagnostics object and exchange by information between diagnostic equipment, telecommunication devices and central controller's point of management, analysis and acceptance.

Key words: gas pipelines, telecommunication system, technical diagnostics, sensor, safety of exploitation, off-wire network technologies.

Tabl.: 2. Fig.: 3. Bibl.: 10.

Постановка проблеми. В Україні є понад 35 000 км магістральних газопроводів, близько 4600 км нафтопроводів, більше 570 км магістральних аміакопроводів, діє мережа трубопроводів для газо- та водопостачання населення і підприємств.

Трубопроводи відіграють важливу роль у житті суспільства. Особливе геополітичне становище України зумовлює значущість трубопровідного транспорту й у міждержавних стосунках. Слід також зазначити, що руйнування нафто- та газопроводів, які супроводжуються витіканням транспортованої речовини, спричинює тяжкі екологічні наслідки, суттєво погіршуючи стан навколишнього середовища.

Тому забезпечення надійного функціонування трубопровідного транспорту завдяки систематичному технічному контролю, а також своєчасне усуненням аварійних ситуацій у разі їх виникнення є надзвичайно важливим завданням. А зважаючи на велику протяжність трубопроводів моніторинг їх технічного стану є непростим завданням.

Визначення місця пошкоджень завжди пов'язані з великими труднощами і матеріальними витратами. Технічні засоби, призначені для вирішеного вказаного завдання, відрізняються реалізованими в них методами, принципом дії, сферою застосування, локальним або глобальним характером діагностування та іншими показниками і характеристиками.

Однак саме величезна протяжність і розгалуженість трубопроводів в Україні, а також відсутність розвинутої системи комунікацій істотно обмежує застосування багатьох із відомих методів та систем діагностики технічного стану промислових і магістральних продуктопроводів, у тому числі і газотранспортних мереж.

Тому надзвичайно важливим з практичного погляду є застосування таких підходів і засобів, додатково до існуючих, які б, не порушуючи технологічних режимів експлуатації газових комунікацій, у режимі реального виміру часу контролювали витоки газу з об'єктів газотранспортної мережі (ГТМ) і передавали отриману інформацію до адресата за допомогою сучасних телекомунікаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпосереднє візуальне обстеження газопроводу є економічно не вигідним. Обстеження тільки зовнішньої поверхні труби, як правило, не надає повної інформації про пошкодження та їхні причини.

Крім візуального огляду щодо наявності пошкоджень, оперативна діагностика технічного стану трубопроводів здійснюється за допомогою індикаторів і номограм деформацій [1]. Недоліком індикаторів деформацій є відносно низька точність визначення рівня напружень і деформацій.

Застосування переносних приладів для здійснення суцільного контролю на трубопроводах великої протяжності пов'язане зі значними витратами часу на виконання чималої кількості вимірювань та труднощами з доставкою приладів до місць огляду в разі складних погодних умов і важкодоступної місцевості.

Внутрішньотрубна дефектоскопія виявляє вже наявні пошкодження металу труби, але не надає потрібної інформації про стан захисту для запобігання руйнувань. Ефективність і оперативність обстежень суттєво підвищується з використанням внутрішньотрубних інспекційних снарядів із ультразвуковими датчиками та пересувних газоаналізуючих установок, систем електрометрії, стаціонарних систем неруйнівного контролю, в яких реалізовані метод акустичної емісії (АЕ), ультра- та інфразвуковий, рентгенографічний, рефлектометричний, магнітоанізотропний методи [2–5].

Перспективними засобами моніторингу трубопроводів на сьогодні є автоматичні пошукові системи «Ехо» [3; 4], які дають змогу оперативно виявляти місця звуження прохідного перерізу трубопроводу і забезпечують час обробки однієї ділянки не більше 5 хв, точність виявлення не більше 0,5 м та крок сканування 150...200 м.

Поширеними є системи «Капкан» та «Магістраль», які призначені для виявлення пошкоджень магістральних трубопроводів, несанкціонованих врізань і витоків [2]. Основним їхнім недоліком є низька відмовостійкість відносно пошкоджень кабелю зв'язку та автономних джерел живлення.

Серед багатьох сучасних автоматизованих систем виявлення витоків із трубопроводів можна виділити АЕ систему «WaveControl» та інфразвукову систему «ІСМТ» [5]. У системі «ІСМТ» реалізовано метод реєстрації інфразвукових коливань, які, як показали дослідження, поширюються усередині трубопроводу на значні відстані. Завдяки слабкому загасанню інфразвукових хвиль ця система здатна виявити витік з трубопроводу, механічну дію на стінку труби, джерела «шуму», що формуються на значній відстані від місця реєстрації.

Зазначимо, що наведені системи «WaveControl» та «ІСМТ» розроблені для застосування на магістральних трубопроводах, що мають велику протяжність, і не враховують особливості трубопроводів промислових підприємств (велика кількість розгалужених трубопроводів при невеликій протяжності). Більше того, використовуване в цих системах обладнання має високу вартість. Наприклад, вартість одного комплексу ультразвукового витратоміру становить близько 55 тисяч доларів. Зважаючи на особливості промислових трубопроводів вартість таких систем є дуже великою.

Заслуговує уваги запропонована НТЦ «НТЦ Нафтогаздіагностика» система періодичного АЕ моніторингу [3]. Застосування системи передбачає розміщення по довжині трубопроводу АЕ перетворювачів, навантаження трубопроводу тиском, реєстрацію сигналів акустичної емісії і визначення за їхніми параметрами ступеня пошкодження трубо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

проводу. Таким чином, однією мобільною апаратною частиною АЕ системи можна проводити контроль великої кількості об'єктів, наприклад, різних трубопроводів, практично з будь-якою заданою періодичністю. При цьому забезпечується стабільність проведення контролю і можливість порівняння результатів АЕ контролів, проведених у різний час, для прогнозування розвитку ситуації.

У процесі оцінювання результатів, отриманих під час проведення АЕ контролю, необхідно враховувати, в якій стадії розвитку перебуває дефект. Одним із способів розпізнавання стадії акустичної емісії є стеження за зміною параметрів АЕ. Для цього необхідно забезпечити безперервний моніторинг магістрального трубопроводу або проводити регулярний періодичний контроль.

Недоліком періодичного АЕ контролю є необхідність проведення великого обсягу підготовчих робіт для забезпечення можливості установки АЕ датчиків, значні витрати на установку стаціонарної системи, необхідність створення умов для захисту апаратної частини системи і забезпечення її безперебійної роботи. Системи безперервного моніторингу економічно виправдано встановлювати тільки на особливо відповідальних ділянках трубопроводів.

На сьогодні найбільш ефективними є дистанційні методи виявлення дефектів трубопроводів, зокрема і витоків газу, з використанням повторних аеро- та космічних зйомок ділянок трас нафто- та газопроводів, лазерних та тепловізійних пристроїв, проте їх низька ефективність, в основному через періодичний характер контролю, вимагає розробки нових методів і систем [6].

Найбільш перспективним напрямком впровадження технічних засобів у процес моніторингу трубопроводних мереж, у тому числі і газопроводів, є розробка спеціалізованих телекомунікаційних технічних засобів із радіоканалами для передачі інформації.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка на основі сучасних мережевих технологій телекомунікаційної системи для виявлення місць витoku газу на лінійних ділянках газопроводів, екологічного моніторингу довкілля, захисту газопроводу від несанкціонованого доступу та забезпечення оперативного обміну інформацією між складовими системи та центральним вузлом управління, аналізу й ухвалення рішень.

Виклад основного матеріалу. Будь-яка спроектована система реалізує попередньо сформульовані вимоги як до системи загалом, так і до її складових частин зокрема, що визначаються зазвичай комплексом завдань, для вирішення яких призначена система. Сенсорна телекомунікаційна система моніторингу газопроводу має вирішувати таке коло завдань: здійснювати виявлення і локалізацію місць витoku газу з газотрубопроводу; забезпечувати управління і контроль експлуатацією газопроводів на основі бездротових технологій; здійснювати моніторинг стану засобів діагностування, пристроїв прийому та передачі, джерел живлення та допоміжного обладнання в режимі реального виміру часу; забезпечувати обмін інформацією між діагностичним обладнанням, телекомунікаційними пристроями і центральним пунктом управління; зберігати, систематизувати та аналізувати дані за різні періоди та інформацію про несправності, що виникають як на об'єктах діагностування, так і в обладнанні; здійснювати моніторинг екологічної ситуації, а в разі виявлення відхилень оперативно реагувати на надзвичайні ситуації.

Функціональна схема розробленої телекомунікаційної системи моніторингу технічного стану газопроводів зображена на рис. 1.

У запропонованій структурі телекомунікаційної системи контролю витоків газу можна виділити три основні рівні управління: локальний, апаратний та клієнтський.

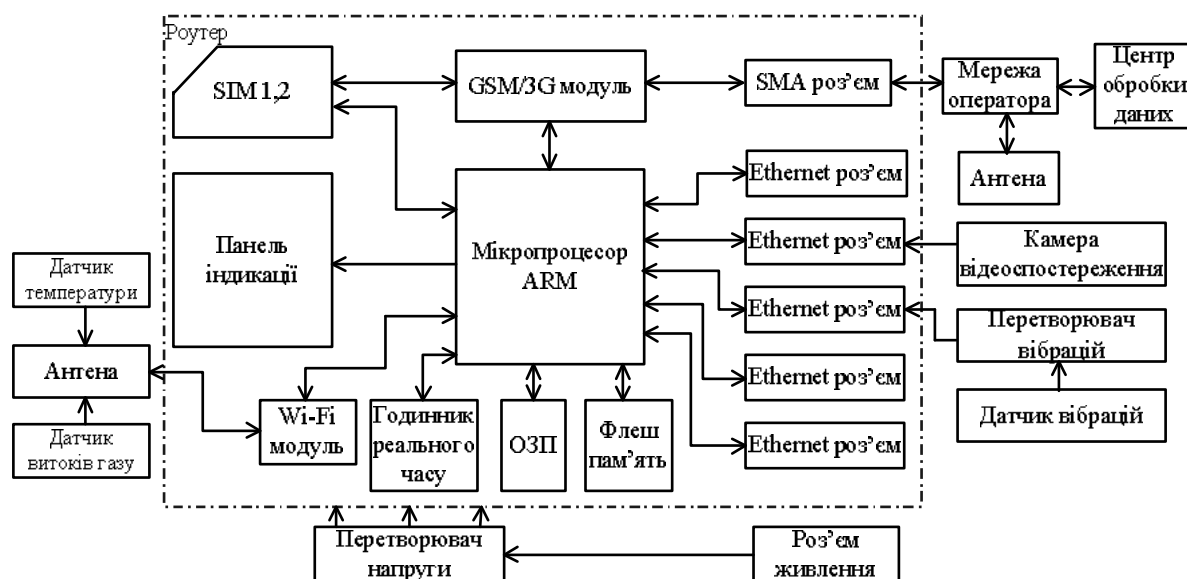


Рис. 1. Функціональна схема телекомунікаційної системи моніторингу технічного стану газопроводів

Локальний рівень управління підтримується камерами відеоспостереження, датчиками витоків газу, вібрацій та температури, джерелами живлення. Апаратний рівень утворюють телекомунікаційні засоби, що здійснюють передачу і прийом інформації різними каналами зв'язку розподіленої сенсорної мережі, а клієнтський рівень складає програмне забезпечення, певні серверні і клієнтські компоненти, що взаємодіють одне з одним через базу даних, щоб забезпечити прийом, накопичення, зберігання, оброблення, відображення, аналіз і передачу інформації, яка надходить від різного устаткування системи для прийняття управлінських рішень.

Ключовими компонентами запропонованої системи моніторингу стану газотранспортної системи є роутер, датчики витоків газу, вібрацій та температури, перетворювачі вібрацій, камери відеоспостереження.

Роутер (бездротовий маршрутизатор) поєднує всі датчики, об'єднує їх у групи та передає інформацію, що надходить від них, у центр обробки даних (сервер). Під час вибору роутера слід керуватися такими вимогами: висока стійкість до умов навколишнього середовища, значний коефіцієнт підсилення антени, можливість автономного живлення. Всім цим вимогам відповідає роутер MOXA WDR-3124A, який підтримує функцію PoE (Power over Ethernet) [7]. Важливим також є і те, що цей роутер має 5 Ethernet-роз'ємів, що дає змогу підключати промислові датчики газу та камери відеоспостереження.

Серія промислових бездротових маршрутизаторів MOXA WDR-3124A підтримує 802.11n стандарти і стільникові технології для забезпечення гнучкого підключення до бездротових мереж. MOXA WDR-3124A поставляється з вбудованою антеною і має ізоляцію живлення.

Монтаж на DIN-рейку, моделі з широким діапазоном робочих температур і IP30 корпус забезпечують MOXA WDR-3124A зручність в експлуатації і надійність для будь-яких типів промислового використання.

Бездротові інфрачервоні датчики витоків газу. Вимоги безаварійної роботи і більш високого рівня надійності змусили багатьох користувачів зробити вибір на користь інфрачервоних (ІЧ) датчиків газу як різновидів оптичних датчиків [8].

У ІЧ-датчику газу реалізовано одну з кращих технологій для визначення типу та концентрації газу в повітрі, засновану на принципі поглинання газом ІЧ-випромінювання (недисперсійний інфрачервоний метод (NDIR)).

Різні гази мають різні максимуми поглинання ІЧ-випромінювання, тому тип і концентрація газу можуть бути визначені через вимірювання й аналіз кривої поглинання газом ІЧ-випромінювання.

Основні переваги ІЧ-датчиків газу: вибухобезпечність; незалежність від наявності кисню; відсутність рухомих частин; стійкість до вібрації; можливість визначення концентрації в діапазоні 0...100 %; лінійність передавальної характеристики, висока точність вимірювань, чутливість і вибірковість газів; тривалий цикл експлуатації.

Датчики такого типу здебільшого містять імпульсне джерело ІЧ-випромінювання, детектор ІЧ-випромінювання, абсорбційний елемент зі входом для газу і віддзеркалюючими поверхнями, а також опорний ІЧ-детектор для вимірювання опорного сигналу (рис. 2).

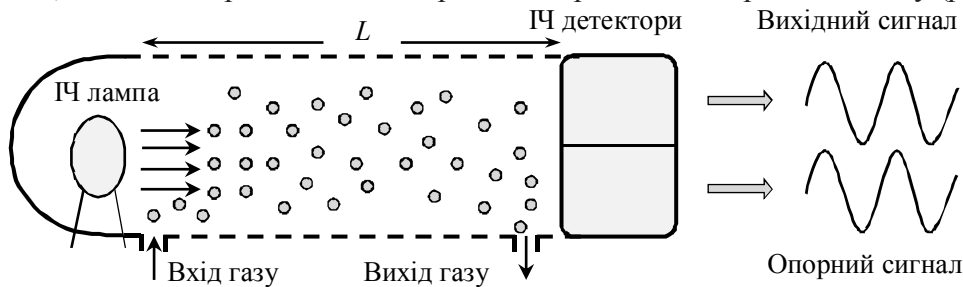


Рис. 2. До принципу функціонування інфрачервоного датчика природного газу

Визначенням газу є вимірювання вихідного сигналу, сформованого перетворенням поглиненого молекулами газу ІЧ-випромінювання. Таке випромінювання поглинається кожним типом газу пропорційно довжині його хвилі і концентрації. Довжина хвилі ІЧ-випромінювання вибирається, виходячи з конкретного газу, наприклад, метану або вуглекислого газу.

Інтенсивність випромінювання після поглинання I (показник вихідного сигналу) порівнюється з інтенсивністю до поглинання I_0 (показник опорного сигналу). Тоді відповідно до закону Бугера–Ламберта

$$I(L) = I_0 e^{-k_\lambda L},$$

де I_0 – інтенсивність вхідного пучка (опорного сигналу); L – товщина речовини, через яку проходить ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі λ ; k_λ – коефіцієнт поглинання, пов'язаний з концентрацією газу C таким співвідношенням: $k_\lambda = x_\lambda C$. Коефіцієнт x_λ характеризує взаємодію молекули поглинаючої речовини з ІЧ-випромінюванням із довжиною хвилі λ .

З'єднання датчика з роутером здійснюється через бездротовий тракт Wi-Fi.

Бездротові датчики температури застосовуються в системі для контролю температури навколишнього середовища в діапазоні від -30 до $+70$ °C та упередження вибухонебезпечних ситуацій. Підключаються датчики температури також через канал Wi-Fi.

На рис. 3 зображена структурна схема використовуваного в запропонованій системі датчика температури з автономним живленням [9]. Принцип його роботи ґрунтується на зрівноважуванні мосту з термісторів. Міст живиться від джерела опорної напруги LT6654-2,5 з низьким коефіцієнтом шумів. Зчитана з термістора напруга оцифровується 24-розрядним $\Delta\Sigma$ -АЦП LTC2484 і через трипровідний інтерфейс SPI подається на радіомодуль LTP5901-IPM.

LTP5901-IPM є повнофункціональним бездротовим модулем, до складу якого входить приймач, власний мікропроцесор та мережне програмне забезпечення (ПЗ). У модуль вбудовані всі функції бездротової мережі: автоматичне конфігурування мережі на основі протоколу IP, зчитування через порт SPI вбудованим мікропроцесором даних з АЦП LTC2484 і керування послідовністю включення живлення сигнальних ділянок.

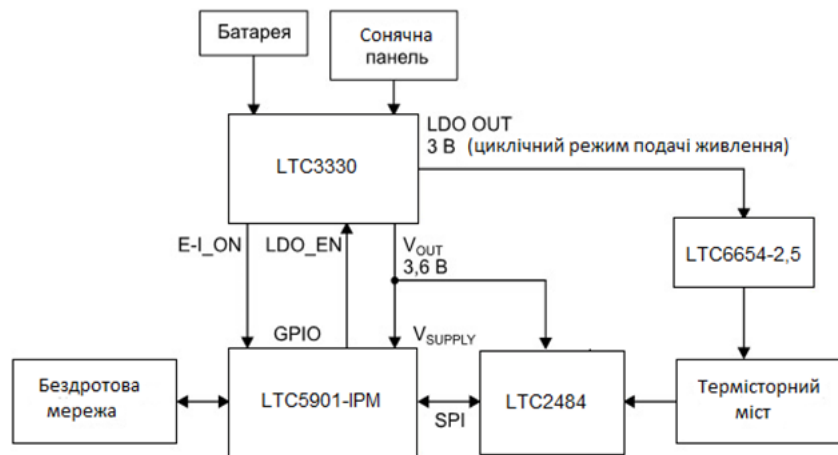


Рис. 3. Структурна схема автономного бездротового датчика температури

Живлення датчика температури здійснюється від батареї або сонячної панелі із залученням малопотужного зведеного імпульсного джерела живлення LTC3330, що перетворює енергію сонячної панелі та перемикається на резервне живлення від батареї, якщо необхідно підтримати певний рівень вихідної напруги. У складі LTC3330 передбачений також LDO-стабілізатор, який керує періодичним включенням датчика температури на час її вимірювання.

Датчики вібрацій та перетворювачі вібрацій. Для упередження несанкціонованого доступу в газотранспортну систему в системі моніторингу передбачено використання промислових датчиків вібрацій, зокрема IFM Electronic VSA 003 (табл. 1). Головна перевага таких датчиків – здатність фіксувати вібрації у трубопроводі на відстані 2 км.

Для того щоб обробити сигнал, що надходить з датчика вібрацій, і передати його через канал Ethernet до маршрутизатора (роутера), у системі моніторингу застосовується перетворювач вібрацій VSE 002, основні технічні характеристики якого наведені в табл. 2. Обрані датчики та перетворювачі вібрацій стійкі до умов навколишнього середовища, завод та можуть функціонувати в широкому діапазоні температур [10].

Таблиця 1

Характеристики датчика вібрацій IFM Electronic VSA 003

Принцип дії	Мікромеханічний датчик прискорення, смісний принцип вимірювання
Частотний діапазон, Гц	0...10 000
Виявлення вібрацій до, g	±17,5
Температура експлуатації	-30...+85 °C
Чутливість, мг/√Гц	0,2
Живлення	12 В

Таблиця 2

Характеристики перетворювача вібрацій VSE 002

Входи	4 x 0...10 мА (давачі вібрацій) 2 x 0/4...20 мА або імпульсний
Виходи	2 дискретних виходи (PNP 100 мА) сигналу тривоги
Шина даних	TCP/IP Ethernet
Робоча температура	-30...+70 °C
Робоча напруга	24 В
Захист від вологи та пилу	IP 20 (потребує зовнішнього корпусу)

Промислова Ethernet-камера відеоспостереження. Візуальний контроль найважливіших вузлів системи забезпечують камери MOXA Vport 56-2MP – перші у світі IP-камери з підтримкою масштабування, які витримують температуру навколишнього середовища від -40 до +75 °C без обігріву й охолодження.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Ці індустріальні Full HD (1920 x 1080) IP-відеокамери поєднують у собі високу роздільну здатність, 10-кратний оптичний і 16-кратний цифровий зум, можуть бути ефективно використані для систем індустріального відеоспостереження високої якості. Максимальна відстань спостереження становить 100 м без використання зовнішніх об'єктивів. Можливість повороту камер на 360° без рухомих кабелів значно підвищує їхню надійність та дає змогу більш гнучко контролювати об'єкт відеонагляду [7].

Розташування відеокамер по всій довжині газопроводу, звичайно, економічно необґрунтоване. Найбільш доцільним є встановлення камер біля важливих вузлів, різноманітних вентилів та іншої запірної арматури.

Висновки і пропозиції. На сьогодні в газотранспортній галузі спостерігається підвищений попит на багатофункціональні і комплексні рішення, де моніторинг, безпека та інформаційні послуги можуть здійснюватися з використанням сучасних телекомунікаційних засобів, що дають змогу обробляти й отримувати різну інформацію у форматі єдиного інтерфейсу, мінімізувавши при цьому вплив «людського фактора» на прийняття управлінських рішень.

Запропонована телекомунікаційна система моніторингу газотрубопроводів включає як кабельні, так і бездротові технології зв'язку. Це підвищує надійність системи, адже у випадку появи завад у бездротовому діапазоні вся система не відмовить.

Перевагою розробленої телекомунікаційної системи є висока швидкість передачі, а також сумісність з мережею GSM. Завдяки цьому система може ефективно функціонувати в будь-якій точці країни, щоправда з різними швидкостями передачі. Компенсувати це може передача інформації через мережу двох операторів. Роутер MOXA WDR-3124A розрахований саме на такий сценарій роботи і має 2 слоти SIM карт для роботи в мережі 2G/3G.

Для зменшення залежності елементів системи від центрального джерела живлення застосовується декілька автономних джерел живлення.

Хоча найважливішим завданням телекомунікаційної системи моніторингу газотрубопроводів є виявлення витоків газу, не менш важливими її компонентами є датчики вібрацій для упередження зовнішніх втручань у газотранспортну систему, датчики температури для контролю стану навколишнього середовища та для уникнення вибухонебезпечних ситуацій, а також відеокамери – для візуального контролю найважливіших вузлів.

У майбутньому подібні системи будуть розвиватися, отримувати новий функціонал. Великий внесок у цей розвиток здійснять системи телекомунікацій 4-го покоління. Це значно розширить можливості каналу передачі даних і, як наслідок, дасть змогу транслювати більш якісне відео.

Значне розширення функціоналу також може принести використання дистанційно керованих дронів-квадрокоптерів. Саме ця функція є найбільш цікавою, адже квадрокоптери зможуть візуально контролювати ситуацію на великих протяжностях газопроводу.

Список використаних джерел

1. Каминский А. А. Методы определения напряженно-деформированного состояния и трещиностойкости газо- и нефтепроводов (обзор) / А. А. Каминский, В. Н. Бастун // Прикладная механика. – 1997. – Т. 33, № 8. – С. 3–30.

2. Фомічов С. К. Моніторинг технічного стану магістральних газопроводів / С. К. Фомічов, С. М. Мінаков, М. А. Яременко // Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів : зб. наук. праць XV Міжнародної науково-технічної конференції ЛЕОТЕСТ-2010 (15-20 лютого 2010 р., Славськ). – Львів : ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 2010. – С. 16–18.

3. *Рекомендации по выбору способа мониторинга технического состояния трубопроводов* / А. А. Белов, Ю. Д. Иванов, А. А. Шестаков, С. Г. Царева, Э. В. Шишков // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2015. – № 10. – С. 63–66.
4. *Стаднюк Е. И.* Обнаружение и устранение гидратных пробок в газопроводах / Е. И. Стаднюк, В. П. Шиян // *Современные техника и технологии : сб. докладов XX Международной научно-практической конференции (14-18 апреля 2014 г., Томск)*. – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – С. 105–106.
5. *Системы обнаружения утечек из трубопроводов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://refdb.ru/look/1995196.html>.
6. *Хренов Н. Н.* Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов / Н. Н. Хренов. – М. : Газоил Пресс, 2003. – 351 с.
7. *Продукція MOXA в Україні* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.moxa.com.ua/2008/products.html>.
8. *Инфракрасные газовые датчики* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gas-sensor.ru/ndir-gas-sensor.html>.
9. *Беспроводные прецизионные датчики температуры с автономным питанием для промышленных сетей* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ptelectronics.ru/stati/>.
10. *Датчик вібрацій VSA003* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ifm.com/products/hke/ds/VSA003.html>.

References

1. Kaminskii, A.A., Bastun, V.N. (1997). *Metody opredeleniia napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia i treshchinostoikosti gazo- i nefteprovodov (obzor)* [Methods of determining tensely-deformed state and fracture toughness of gas and oil pipelines]. *Prikladnaia mekhanika – Applied mechanics*, vol. 8, pp. 3–30 (in Russian).
2. Fomichov, S.K., Minakov, S.M., Yaremenko, M.A. (2010). *Monitorynh tekhnichnoho stanu mahistralnykh hazoprovodiv* [Monitoring the technical condition of the main gas pipelines]. *Proceedings from Elektromahnitni ta akustychni metody neruinivnoho kontroliu materialiv ta vyrobiv: zb. nauk. prats XV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Electromagnetic and acoustic non-destructive testing methods of materials and products. Proceedings of the 15-th International scientific-technical conference LEOTEST-2010* (Slavsk, February 15-20, 2010). Lviv: Karpenko PMI of the NASU, pp. 16–18 (in Ukrainian).
3. Belov, A.A., Ivanov, Iu.D., Shestakov, A.A., Careva, S.G., Shishkov, Ie.V. (2015). *Rekomendatsii po vyboru sposoba monitoringa tehniceskogo sostoianiia truboprovodov* [Recommendations for choosing a monitoring method of the technical condition pipelines]. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk – Actual problems of humanities and natural sciences*, no. 10, pp. 63–66 (in Russian).
4. Stadniuk, E., Shiian, V.P. (2014). *Obnaruzhenie i ustranenie gidratnykh probok v gazoprovodakh* [Detection and removal of hydrates plugs in gas pipelines]. *Proceedings from Suchasni tekhnika i tekhnolohii: sb. dokladov XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii – Modern technique and technology. Proceedings of the XX International scientific-practical conference* (Tomsk, April 14-18, 2014). Tomsk: TPU, pp. 105–106 (in Russian).
5. *Sistemy obnaruzheniia utechek iz truboprovodov [Pipeline leak detection system]*. Retrieved from <https://refdb.ru/look/1995196.html>.
6. Hrenov, N.N. (2003). *Osnovy kompleksnoi diagnostiki severnykh truboprovodov. Aerokosmicheskie metody i obrabotka materialov [Basics of complex diagnostics Northern pipelines. Aerospace methods and materials]*. Moscow: Gazoil Press (in Russian).
7. *Produktsiia MOXA v Ukraini [MOXA products in Ukraine]*. www.moxa.com.ua. Retrieved from <http://www.moxa.com.ua/2008/products.html>.
8. *Infrakrasnye gazovye datchiki [Infrared gas sensors]*. Retrieved from <http://gas-sensor.ru/ndir-gas-sensor.html>.
9. *Besprovodnye pretsizionnye datchiki temperatury s avtonomnym pitaniem dlia promyshlennykh setei [Wireless precision temperature sensors with self-contained power supply for industrial networks]*. Retrieved from <https://ptelectronics.ru/stati/>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. *Datchik vibratsii VSA003 [Vibration sensors VSA003]*. www.ifm.com/products/. Retrieved from <http://www.ifm.com/products/hke/ds/VSA003.html>.

Гумен Микола Борисович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційно-вимірювальних систем, Національний авіаційний університет (просп. космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03068, Україна).

Гумен Николай Борисович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры информационно-измерительных систем, Национальный авиационный университет (просп. космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03068, Украина).

Humen Mykola – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information and Measurement Systems, National Aviation University (1 Cosmonaut Komarov Av., 03068 Kyiv, Ukraine).

E-mail: mbgumen@ukr.net.

Гумен Тамара Федосіївна – старший викладач кафедри звукотехніки і реєстрації інформації, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського (просп. Перемоги, 37, корп. 12, м. Київ, 03056, Україна).

Гумен Тамара Федосеевна – старший преподаватель кафедры звукотехники и регистрации информации, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» им. Игоря Сикорского (просп. Победы, 37, корп. 12, г. Киев, 03056, Украина).

Humen Tamara – senior lecturer of the Department Audio Engineering and Data Registration information, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., build 12, 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: bela_09@ukr.net.

УДК 005.8:378

*Александр Рыжков***РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОГО РЫНКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ***Олександр Ришков***РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОГО РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ***Aleksandr Ryzhkov***DEVELOPMENT OF INNOVATIVE METHODOLOGY FOR PROJECT MANAGEMENT IN GLOBAL EDUCATIONAL SERVICES MARKET**

Объектом исследования в целом являются контракты на выполнение образовательных услуг для иностранных заказчиков. В частности объектом является совместная образовательная программа между Национальным университетом кораблестроения имени адмирала Макарова (НУК) и китайским колледжем по подготовке бакалавров. С точки зрения финансово-хозяйственной деятельности университетов иностранные студенты являются источником дополнительного финансирования. Как следствие – серьезная конкуренция с применением различных механизмов соперничества между украинскими ВУЗами за привлечение иностранцев для обучения.

Одним из наиболее проблемных мест при выполнении международных контрактов является неумелое управление проектом. В условиях конкурентной борьбы на рынке образовательных услуг выбор неподходящей методологии управления образовательным проектом, нерациональное распределение ресурсов, несвоевременный контроль качества предоставляемой услуги могут привести не только к потере существующего контракта, но и к снижению репутации университета на международной арене. Это, в свою очередь, сводит к минимуму вероятность заключения новых контрактов.

Разработана инновационная методология управления проектами по предоставлению образовательных услуг иностранному заказчику. В этой методологии применяется общий расчет количественной оценки качества предоставления образовательной услуги. Для того чтобы значительно сократить время расчетов, была создана универсальная вычислительная программа, которая позволяет обрабатывать обширные блоки данных с визуализацией результатов в двумерной системе координат. Методология была внедрена в рабочий процесс Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова. Полученные результаты дали возможность быстро вносить коррективы в учебный процесс с целью повышения качества образовательных услуг для международного заказчика. Применение данной методологии управления проектами повышает конкурентоспособность университета на международной арене в сфере оказания образовательных услуг, открывая перспективы заключения новых международных контрактов в сфере оказания образовательных услуг.

Ключевые слова: количественная оценка качества, принципиальные подходы управления проектами, международная образовательная программа.

Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 24.

Об'єктом дослідження в цілому є контракти на виконання освітніх послуг для іноземних замовників. Зокрема об'єктом є спільна освітня програма між Національним університетом кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) і китайським коледжем з підготовки бакалаврів. З погляду фінансово-господарської діяльності університетів іноземні студенти є джерелом додаткового фінансування. Як наслідок – серйозна конкуренція з застосуванням різних механізмів суперництва між українськими ВНЗ за залучення іноземців для навчання.

Одним з найбільш проблемних місць при виконанні міжнародних контрактів є невміле управління проектом. В умовах конкурентної боротьби на ринку освітніх послуг вибір невідповідної методології управління освітнім проектом, нераціональний розподіл ресурсів, несвоєчасне контроль якості наданої послуги можуть призвести не тільки до втрати існуючого контракту, але і до зниження репутції університету на міжнародній арені. Це, у свою чергу, зводить до мінімуму ймовірність укладання нових контрактів.

Розроблено інноваційну методологію управління проектами з надання освітніх послуг іноземному замовнику. У цій методології застосовується загальний розрахунок кількісної оцінки якості надання освітніх послуг. Для того щоб значно скоротити час розрахунків, була створена універсальна обчислювальна програма, яка дозволяє обробляти великі блоки даних з візуалізацією результатів у двовірній системі координат. Методологія була впроваджена в робочий процес Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова. Отримані результати дали можливість швидко вносити корективи в навчальний процес з метою підвищення якості освітніх послуг для міжнародного замовника. Застосування даної методології управління проектами підвищує конкурентоспроможність університету на міжнародній арені у сфері надання освітніх послуг, відкриваючи перспективи укладання нових міжнародних контрактів в сфері надання освітніх послуг.

Ключові слова: кількісна оцінка якості, принципові підходи управління проектами, міжнародна освітня програма.

Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 24.

The object of the study as a whole are contracts for the performance of educational services for foreign customers. In particular, the object is a joint educational program for the preparation of bachelors between the Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS) and the Chinese college.

In terms of financial and economic activities of universities, foreign students are a source of additional funding. As a consequence, serious competition with the use of various mechanisms of competition between Ukrainian universities for attracting foreigners for training.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

One of the most problematic places in the implementation of international contracts is inefficient project management. In conditions of competitive struggle in the market of educational services, the choice of an inappropriate methodology for managing an educational project, irrational allocation of resources, untimely monitoring of the quality of the provided service can lead not only to the loss of the existing contract, but also to the reduction of the university's reputation in the international arena. This, in turn, minimizes the possibility of new contracts.

Innovative project management methodology for the provision of educational services to the foreign customer was developed. In this methodology is applied the general calculation of a quantitative assessment of the quality of teaching. To significantly reduce the time for calculations, the universal computing program has been created, which allows to process extensive data blocks with the visualization of the results in the two-dimensional coordinate system. This methodology was implemented to working process of Admiral Makarov National University of Shipbuilding. The results made it possible to quickly make adjustments in the educational process in order to improve the quality of educational services for the international customer.

The application of this project management methodology increases the competitiveness of the university in the international arena in the provision of educational services, opening the perspectives for new international contracts for the provision of educational services.

Key words: *quantitative assessment of quality, principal project management approaches, international educational program.*

Fig.: 3. Tabl.: 1. Bibl.: 24.

Введение. Современный рынок образовательных услуг на территории Украины представляет собой сложную модель европейского образца, построенную на базе Советской школы, которая имела высокие показатели в области точных и медицинских наук. Интеграция мощного постсоветского образовательного кластера Украины в формат Болонского процесса осуществляется по сей день. Толчком для ускорения её фактической реализации стало принятие Верховной Радой Закона «О высшем образовании от 01.07.2014 № 1556-VII» [1].

Выйдя на международный рынок образования, украинские высшие учебные заведения сталкиваются с серьёзной конкурентной борьбой не только за привлечение граждан других стран на обучение, но и с борьбой за украинского абитуриента, который всё чаще смотрит в сторону европейских университетов. В подобных условиях ортодоксальные методы работы приёмных комиссий не всегда дают нужные результаты и без креативного подхода уже не обойтись.

В соответствии с Законом Украины «О высшем образовании», иностранцы и особы без гражданства могут получать высшее образование за средства физических (юридических) лиц, если другое не предусмотрено международными договорами Украины.

Особое внимание следует уделять абитуриентам из Китайской Народной Республики. Согласно «Докладу о развитии обучения китайских студентов за границей» Китай занял первое место в мире по числу отправляющихся ежегодно на учебу за границу граждан [2]. По статистическим данным ЮНЕСКО, число китайских студентов за рубежом составляет 14 % от общемирового объема, превращая Китай в крупнейшего поставщика иностранных студентов.

Цель и задачи исследований. *Целью работы* является разработка инновационной методологии управления проектами по предоставлению образовательных услуг иностранному заказчику (УПО).

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработать секторальное распределение ответственности при управлении проектом образовательной программы «2+2».
2. Выбрать наиболее подходящую методологию для оценивания качества преподавания по международному проекту.
3. Создать универсальную вычислительную программу для расчёта по методологии оценивания качества.
4. Внедрить методологию УПО в рабочие процессы Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова и Международного морского колледжа Чжецзян.

Исследование существующих решений проблемы. Становление государства Украина как полноправного партнёра Европейского союза и серьёзного игрока на Ми-

ровой арене невозможно без мощной интеграции не только экономических факторов, но как культурных, так и образовательных составляющих.

Соглашение об ассоциации Украины с Европейским союзом, подписанное 27 июня 2014 года несёт в себе процесс внедрения европейских стандартов во множество областей жизнедеятельности и здорового функционирования Государства. В частности, это касается и образовательного процесса. Всем известны высокие стандарты Запада в образовательной сфере, что, в свою очередь, подразумевает повышение планки украинского образования.

Глобализация рынка образовательных услуг обуславливает трансформацию национальных систем образования многих стран. В качестве ярко-выраженного индикатора этого явления можно привести такие страны, как США, Великобритания, Южная Корея, страны Восточной Европы и т. д. Для Украины, как и для других европейских стран, кроме системных реформ, как следствие глобализации, важнейшим фактором реформирования высшего образования является внедрение и развитие Болонского процесса [3].

19 июня 1999 года 29 министрами образования европейских стран была подписана Болонская декларация [4], которая стала катализатором развития и модификации идей Сорбонской декларации [5] про Европейское пространство высшего образования. Это способствует более тесным связям между европейскими странами в развитии и укреплении интеллектуального, социального, научного и технологического потенциалов, академического и общекультурного взаимообогащения.

Важнейшей составляющей успешной жизнедеятельности европейских университетов является академическая мобильность студентов, широкая степень автономии в принятии решений и активная международная деятельность. Рассматривая европейскую модель образования, не следует упускать из вида фактор конкурентной борьбы. Образовательные услуги Запада привязаны к рыночной экономике и действуют по простому и жёсткому закону «спроса и предложения». Специальность, которая не представляет собой интерес для рынка трудоустройства, не выдерживает конкуренции и университету приходится сокращать её со всеми вытекающими последствиями – увольнением штата, снижением учебной нагрузки и прочее. По сути, умение западных университетов подстраиваться под постоянные изменения современности и является залогом удачного функционирования.

Украинским высшим учебным заведениям следует помнить, что принимая европейские стандарты, они принимают и условия здоровой конкуренции уже не только друг с другом, но и с европейскими университетами. Не секрет, что для большинства украинских абитуриентов университеты Великобритании, Франции и Германии представляют малый интерес. Это вызвано исторически сложившимися обстоятельствами ценообразования и прочих факторов. Но университеты таких стран как Польша, Словакия и Чехия выглядят более чем привлекательно и реально.

Общий уровень удовлетворения системой образования этих стран выше, чем у Украины, о чём свидетельствуют данные «Отчёта по развитию человека за 2013 год» [6].

В условиях нарастающей конкурентной борьбы в мировой общеобразовательной сфере, единственный способ достойного функционирования высшего учебного заведения Украины – соответствие высоким критериям и мировым стандартам. А этого невозможно достичь без активной международной деятельности, направленной на развитие интернациональных учебных программ.

Но держа курс на международную интеграцию, ни в коем случае не следует забывать о потребности регионов Украины, на которые работает университет. На сегодняшний день в условиях развития рыночных отношений и, соответственно, рынка труда, наблюдается некоторая неслаженность сферы высшего образования и потенциальных

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

работодателей. В промышленных регионах Украины это связано в первую очередь с активной модернизацией промышленных предприятий: закупкой современного высокотехнологического оборудования, использование новейшего программного обеспечения, расширение номенклатуры изделий. Это приводит к необходимости постоянного обновления программ подготовки молодых специалистов в соответствии с реалиями регионального рынка труда [7].

Для достижения поставленных задач, руководство высшего учебного заведения должно представлять собой сбалансированный сплав профессиональных менеджеров, специалистов по управлению проектами, методистов и профессорско-преподавательского состава. Они должны быть способны мобильно и эффективно реагировать на те, либо иные обстоятельства современности.

В Национальном университете кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина (НУК) с 2008 года в рамках «Концепции развития НУК» по сей день продолжает реализовываться программа «построения университета европейского типа» [8]. Концепции и выполнения международных образовательных программ этого ВУЗа взяты за основу данного исследования.

Управление качеством проекта включает в себя все работы, которые относятся к общим функциям управления, определяют политику в области качества, задачи и ответственность и реализуют их такими средствами как планирование качества, его контроль и совершенствование в рамках обеспечения качества [9].

Процесс управления качеством проекта предусматривает три основные составляющие: планирование качества, обеспечение качества, контроль качества [10]. Предусмотренными методами контроля качества работы преподавателей высшей школы осуществить объективную количественную оценку достаточно сложно [11]. На необходимость этой оценки указывает большое количество авторов [12]. В частности широко подняты методические вопросы оценки результатов профессиональной деятельности профессорско-преподавательского состава высшего учебного заведения [13]. Есть прямая связь мер по мотивации преподавателей к качественному труду с возможностью администрации учебного заведения иметь объективную оценку работы преподавателей высшей школы [14].

В качестве вспомогательного инструмента для управления образовательным проектом целесообразно применять облачные технологии, находящие всё большее применение во всём мире. Актуально стоит вопрос о качестве предоставляемых облачных услуг и правильном выборе поставщика [15]. Из-за ограничений доступа к определённым ресурсам на территории КНР, остро стоит этот вопрос для работы с китайскими учреждениями.

При оценке качества преподавания следует также учитывать саму методологию преподавания. Как показывают последние исследования в этой сфере, наблюдается мировая тенденция по ориентации образования непосредственно на решение задач производства, пренебрегая вопросами интеллектуального и морального развития общества [16]. На проектный подход, как методологию построения современного университетского образования указывает ряд исследований по управлению проектами [17]. При оценке качества образования, неоднократно указывалось на важность многокритериального оценивания. Также подчеркивается сложность оценки преподавания и причинно-следственная связь между оценкой результатов обучения в высшем образовании и качеством высшего образования [18]. Широко известная европейская модель оценки компетенции персонала, базирующаяся на стандартной модели компетенций, хоть и обладает гибкими инструментами для экспертизы в реальных корпоративных средах для оценки сотрудников, всё же не отвечает в полной мере задаче контроля качества преподавания для иностранных граждан [19].

В НУК предложено рассматривать преподавателя как лицо, стремящееся помочь студенту усвоить необходимые знания и умения, предусмотренные стандартом образования. На основании этого подхода принят расчет количественной оценки качества преподавания [20]. Этот расчет применялся для оценки образовательного процесса для украинских студентов, но для оценки реализации международных учебных программ он применяется впервые. В литературе отсутствуют данные о существовании универсальной вычислительной программы для проведения расчетов количественной оценки качества преподавания. Поэтому для упрощения процесса расчетов была разработана программа на основе пакета прикладных программ MatLab [21]. В этой программе проведены множественные расчёты для управления качеством образования в НУК [22]. Также разработана методология управления проектом по оказанию образовательных услуг международному заказчику [23].

Эффективно ведется работа Учебно-научного центра международного сотрудничества (УНЦМС) по привлечению на обучение в НУК иностранных граждан. Так, в период с 2011 по 2016 годы наблюдается рекордная за весь период существования университета тенденция по увеличению иностранных студентов, аспирантов и стажеров для повышения квалификации (рис. 1). Так, по состоянию на начало 2008 учебного года в НУК насчитывалось лишь 88 иностранных студентов. По состоянию на начало февраля 2016 года в НУК учится 1073 иностранных гражданина из 24 стран мира. Количество иностранцев в НУК увеличилось более чем в 13 раз, что является высоким показателем динамики развития международного сотрудничества.

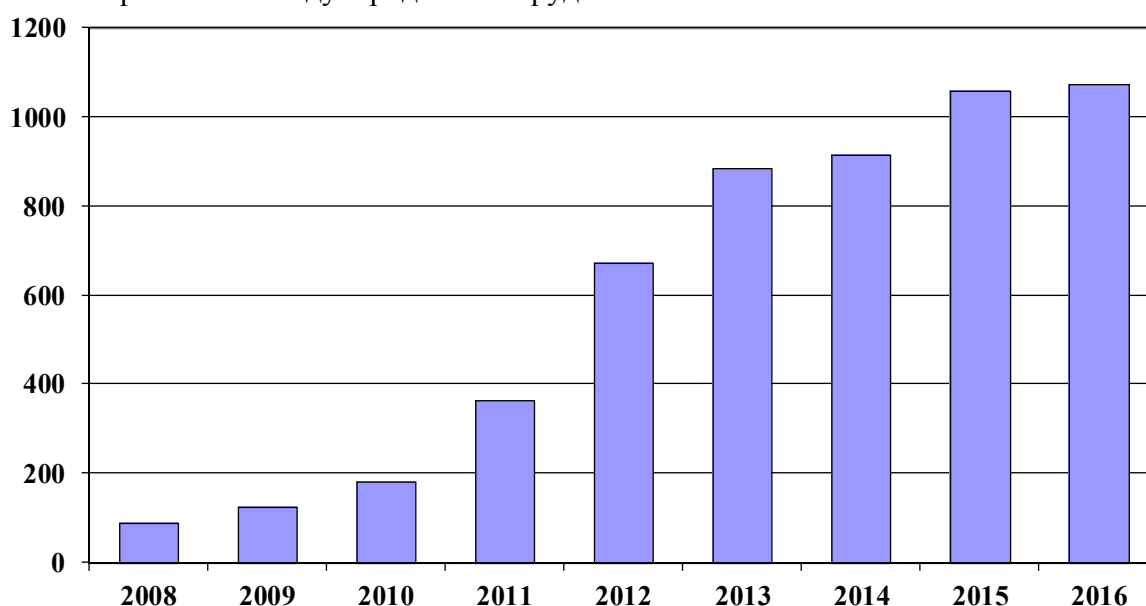


Рис. 1. Количество иностранных студентов в Национальном университете кораблестроения им. адм. Макарова за 2008–2016 годы

Находит своё развитие учебная программа с Международным морским колледжем, г. Чжоушань, КНР (ММКЧ), в НУК. За четыре года по схеме «2+2» в НУК было направлено 70 китайских выпускников колледжа (младшие специалисты). Их цель – получение высшего технического образования (бакалавр) по отрасли знаний «Морская техника» (специальности «Корабли и океанотехника», «СЭУ»). Летом 2013 года состоялся первый выпуск бакалавров по этой программе (13 человек), летом 2014 года – второй выпуск (14 человек). 30 % выпускников продолжают обучение в магистратуре. В 2015 году – 17 человек. В 2016 – 22 человека.

Реализуется соглашение с руководством Университета науки и технологий провинции Цзянсу, КНР (УНТЦ). По программе «4+0» с 2012 по 2016 годы набрано 217 студентов.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

В 2012 году был подписан Договор о партнерстве и сотрудничестве между Национальным университетом кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина и Батумским навигационно-учебным университетом, г. Батуми, Грузия (БНУУ). В рамках сотрудничества был создан на базе БНУУ учебно-консультационный пункт НУК в Батуми для осуществления подготовки студентов по бакалаврским программам. В 2016 году обучается 217 студентов по различным специальностям.

Продолжается успешная подготовка специалистов по заказу вьетнамской государственной компании HITACO Ltd.

Продолжены переговоры в направлении подготовки специалистов с организациями и университетами Польши, Норвегии, Бельгии, Турции, Азербайджана, Таджикистана, Грузии, Туркменистана, КНР, Эстонии, Аргентины и др.

Методы исследования. Накопленный многолетний опыт работы Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова с международными заказчиками даёт возможность рационально подойти к вопросу управления проектами иностранного сегмента. Существующие модели управления не в полной мере соответствуют поставленным задачам, при реализации данных проектов. В частности, наиболее близкие к ним: традиционная (каскадная) методология управления проектами не подходит из-за своей инертности и нетолерантности к изменениям. Также не применима в полной мере популярная на западе методология PRINCE2, которая внесла бы массу дополнительных бюрократических тяжб [24].

Поэтому на основе результатов управления проектами УНЦМС была разработана методология управления проектом по оказанию образовательных услуг для иностранного заказчика (Управление Проектом Образования, УПО). Процессы метода УПО представлены на рис. 2.

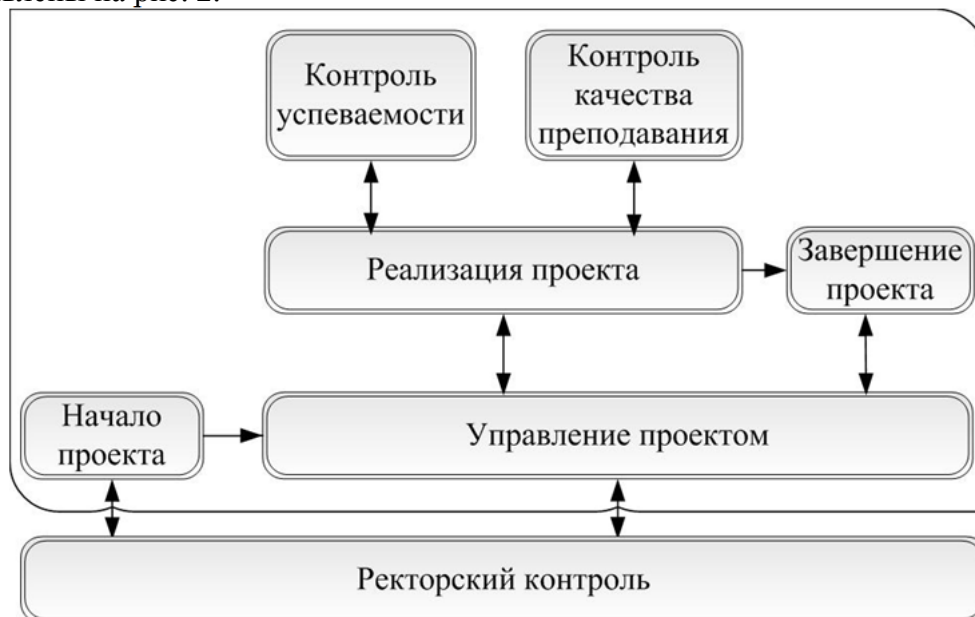


Рис. 2. Процессы метода управления проектом по оказанию образовательных услуг для иностранного заказчика

Принципы методологии УПО:

1. Оценка возможностей, подбор исполнителей – способен ли университет выполнить международный проект в соответствии с требованиями заказчика. В случае позитивной оценки привлекаются необходимые структурные подразделения университета и осуществляется набор в команду исполнителей проекта.

2. Постоянный рост – учитывать пожелания заказчика, накапливать опыт работы.

3. Применение механизма «распределения ответственности» – ответственность за положительный результат проекта лежит не только на главном исполнителе (как правило,

международном структурном подразделении университета). Ответственность равномерно распространяется на все структурные подразделения, задействованные в проекте.

4. Оценка качества своей работы – ведение непредвзятого контроля над качеством образовательной услуги, осуществляемой университетом. Постоянное стремление к совершенствованию и соответствию высоким международным стандартам.

5. Секторальное управление проектом – проект разбивается на блоки (секторы), за каждый из которых отвечает тот или иной исполнитель.

Аспекты методологии УПО:

1. Планирование – подготовка к выполнению проекта, верификация учебных планов, составление сопроводительных документов, диспетчерское сопровождение.

2. Координирование – распределение обязанностей, состыковка структурных подразделений-исполнителей во время выполнения проекта.

3. Выполнение – степень соответствия планирования к фактической реализации.

4. Риски – механизмы решения возможных непредвиденных обстоятельств в планировании и факторах стороннего вмешательства.

Процессы управления проектом по методологии УПО:

1. Ректорский контроль.

Ректор, либо уполномоченная им osoba ведёт контроль над выполнением обязательств университета перед международным заказчиком. Осуществляется на протяжении всего периода проекта.

2. Начало проекта.

Основанием для начала проекта является международный контракт на оказание образовательной услуги. Он также является и планом реализации проекта. На данном этапе проекта назначаются ответственные исполнители и проводятся все подготовительные работы.

3. Управление проектом.

Данный этап характеризуется распределением секторальной ответственности.

4. Реализация проекта.

Основополагающий этап проекта, на котором происходит непосредственное оказание образовательной услуги иностранным студентам/слушателям базовыми подразделениями университета – кафедрами.

5. Контроль успеваемости.

По истечению установленного периода времени проводится комплексный контроль над выполнением проекта для выявления отклонений и других негативных факторов, способных помешать реализации контракта. Как правило, временным периодом выбирается учебный семестр.

6. Контроль качества преподавания.

Осуществляется наряду с контролем успеваемости и направлен на соответствие международным критериям преподавания.

7. Завершение проекта.

Характеризуется выполнением условий и сроков контракта с выдачей дипломов/сертификатов иностранным гражданам, которые выполнили все требования для присвоения соответствующей квалификации.

Результаты исследования. В качестве контроля над качеством преподавания производился расчёт количественной оценки для групп китайских студентов. В работе показан расчёт оценки преподавания за 8 семестр 2015 года. За указанный период группе из 14 студентов была предоставлена образовательная услуга по 10 дисциплинам:

j1 – The theory of the ship and means of development of ocean;

j2 – Technology Basics of Shipbuilding and Sea technique;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- j3 – Basics of Economy and Management of Enterprises;
- j4 – Design of Ship and Sea technique;
- j5 – Labour Protection Basics;
- j6 – General Ship Mechanisms and Systems;
- j7 – CAD, CAE, CAM systems in shipbuilding;
- j8 – Basics of Ship Power Plant automatic Control;
- j9 – Russian language;
- j10 – English language.

Ведение лекционных, практических и лабораторных занятий по этим дисциплинам обеспечивались коллективом преподавателей из 14 человек. По некоторым дисциплинам лекционный материал читался одним преподавателем, а практические и лабораторные занятия – другим. В этом случае качественная оценка преподавания рассчитывалась для конкретной дисциплины и характеризовала коллектив преподавателей, работающих таким образом в паре.

Для значительного сокращения времени на расчёты была создана универсальная вычислительная программа, которая позволяет обрабатывать обширные блоки данных с визуализацией результатов в двухмерной системе координат. Данная программа была введена в рабочий процесс Учебно-научного центра международного сотрудничества Национального университета кораблестроения для контроля над качеством оказания образовательных услуг для международных заказчиков.

Результаты проведённых расчётов количественной оценки преподавания по 10 дисциплинам за 8 семестр 2015 года по программе «2+2» представлены на рис. 3 и в табл. 1.

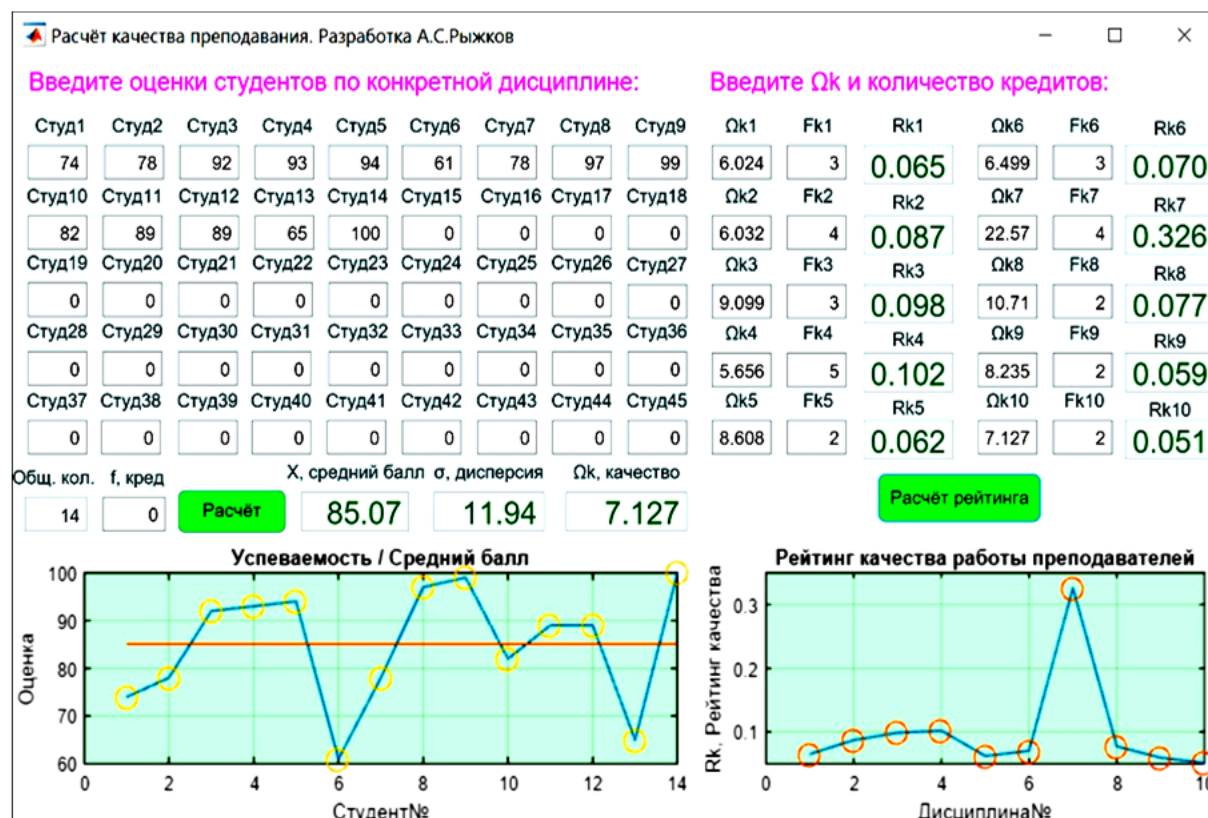


Рис. 3. Результат расчёта количественной оценки качества преподавания в универсальной вычислительной программе для 14 китайских студентов за 8 семестр 2015 года

Результаты расчётов количественной оценки преподавания по 10 дисциплинам
за 8 семестр 2016 года по программе «2+2»

Рейтинг	j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7	j8	j9	j10
X_j	69,5	73,29	86,29	72,79	83,93	77,36	96,29	79,86	87,14	85,07
X_k	69,5	73,29	86,29	72,79	83,93	77,36	96,29	79,86	87,14	85,07
f_j	3	4	3	5	2	3	4	2	2	2
F_k	3	4	3	5	2	3	4	2	2	2
σ_j	11,54	12,15	9,483	12,87	9,75	11,9	4,267	7,453	10,58	11,94
σ_k	11,54	12,15	9,483	12,87	9,75	11,9	4,267	7,453	10,58	11,94
Ω_k	6,024	6,032	9,099	5,656	8,608	6,499	22,57	10,71	8,235	7,127
R_k	0,065	0,087	0,098	0,102	0,062	0,070	0,326	0,077	0,059	0,051

Проведя анализ полученных результатов количественной характеристики по относительному Ω_k показателю, можно сделать первоначальный вывод о качестве работы преподавателей в результате заключительного контроля по всем дисциплинам. По результатам рейтингового балла, наивысшее качество образовательной услуги представлялось по дисциплине j7 – CAD, CAE, CAM systems in shipbuilding ($R=0,326$). За ним следует дисциплина j4 – Design of Ship and Sea technique ($R=0,102$), а за ней j3 – Basics of Economy and Management of Enterprises ($R=0,098$). Худший показатель по дисциплине j10 – English language ($R=0,051$), чуть лучше j9 – Russian language ($R=0,059$); за ним j5 – Labour Protection Basics ($R=0,062$).

Рекомендовано преподавание с рейтинговым баллом качества работы $R_k \geq 0,06$ считать удовлетворяющим высокие стандарты обучения. Таким образом, восемь из десяти преподаваемых дисциплин за данный период времени соответствовали нужным критериям. Две языковые дисциплины оказались не на достаточно высоком уровне, что стало подспорьем для собеседования с преподавателями и последующими организационными мероприятиями по улучшению качества преподавания.

Выводы. 1. На основе результатов управления проектами Учебно-научного центра международного сотрудничества НУК была разработана методология управления проектом по оказанию образовательных услуг для иностранного заказчика (Управление Проектом Образования, УПО).

Данная методология позволяет эффективно управлять международным образовательным проектом, что подтверждено её применением при успешном выполнении международных контрактов НУК.

В рамках методологии для совместной образовательной программы «2+2» было разработано и внедрено секторальное распределение ответственности при управлении проектом.

2. Из множества способов оценки преподавания в качестве наиболее подходящего для решения поставленной задачи выбран общий расчет количественной оценки качества обучения.

3. В рамках развития методологии УПО разработана универсальная вычислительная программа (УВП) для значительного сокращения затрат временных ресурсов на проведение расчётов количественной оценки качества преподавания.

УВП позволяет обрабатывать обширные блоки данных с визуализацией результатов в двумерной системе координат. Были проведены комплексные расчёты количественной оценки качества предоставления образовательных услуг преподавателями Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова по совместной учебной программе «2+2» с Международным морским колледжем Чжецзян.

Полученные результаты дают возможность непредвзятого контроля над работой преподавателей для иностранных граждан. В ходе собеседования по результатам расчётов выявлены недочёты в работе по вышеуказанным дисциплинам. Принят комплекс мер по их устранению и повышению качества образовательных услуг для международных заказчиков.

Применение УВП приводит к значительному снижению временных затрат исполнителей международных контрактов на решения задач управления качеством образовательных услуг.

4. Методология УПО была внедрена в рабочие процессы Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова и Международного морского колледжа Чжецзян. На данный момент она эффективно применяется для управления международными проектами, позволяя выполнять большее количество заказов при ограниченных человеческих ресурсах.

Список использованных источников

1. Про вищу освіту [Електронний ресурс] : Закон України від 01.07.2014 № 1556-VII». – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
2. Доклад о развитии обучения китайских студентов за границей : доклад / Научно-исследовательский центр Китая и глобализации совместно с Академией общественных наук КНР. – П., 2013.
3. Бобрицька В. І. Мобільність як ключовий принцип формування європейського освітнього простору // Європейська інтеграція вищої освіти України в контексті Болонського процесу: Теоретичний та науково-методичний часопис «Вища освіта України». – К. : Інститут вищої освіти НАПН України, 2013. – № 3, Д. 2. – С. 234–238.
4. Focus on Higher Education in Europe: The Impact of the Bologna Process [Електронний ресурс] / European Commission – Режим доступу : http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic_reports/122EN.pdf.
5. The Bologna Process 2020 – The European, Higher Education Area in the new decade [Електронний ресурс] / Communique of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education. Leuven and Louvain-la-Neuve. – Режим доступу : https://www.eurashe.eu/library/modernising-phe/Bologna_2009_Leuven-Communique.pdf – 29.04.2009 г. – Загл. с экрана.
6. Human Development Report 2013. The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World / Calculated based on the data from UNDP. – New York, 2013.
7. Регіональний ринок праці – фактор, що визначає підготовку молодих спеціалістів / С. Б. Беліков, О. В. Климов, Д. В. Павленко, Д. В. Ткач // Європейська інтеграція вищої освіти України в контексті Болонського процесу: Теоретичний та науково-методичний часопис «Вища освіта України». – К. : Інститут вищої освіти НАПН України, 2013. – № 3, Д. 2. – С. 113–116.
8. Рыжков С. С. Отчёт ректора за 5 лет работы / С. С. Рыжков. – Николаев : Издательство НУК, 2013. – С. 109–133.
9. Керівництво з питань проектного менеджменту : пер. с англ. / под. ред. С. Д. Бушуева. – К. : Ділова Україна, 2000. – 196 с.
10. Бурков Н. В. Модели и механизмы теории активных систем в управлении качеством подготовки специалистов / Н. В. Бурков, Д. А. Новиков. – М. : Исследовательский центр проблем управления качеством подготовки специалистов, 1998. – С. 128–155.
11. Зиннуров У. Г. Оценка затрат на подготовку специалистов в зависимости от квалификационных требований к выпускнику / У. Г. Зиннуров, М. Б. Гузаиров. – М. : ИЦ, 1991. С. 24–41.
12. Кадикова І. М. Застосування збалансованої системи показників для управління факультетом ВНЗ / І. М. Кадикова, А. Л. Алфьорова, І. В. Челпанова // Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі: Проблеми теорії практики. – 2010. – № 3 (11). – С. 40–53.
13. Хотомлянський О. Методичні питання оцінювання результатів професійної діяльності професорсько-викладацького складу вищого навчального закладу / О. Хотомлянський, Т. Дерев'яно // Освіта і управління. – 2006. – Т.9, № 3-4. – С. 145–151.

14. Балыхин Г. А. Управление развитием образования: организационно-экономический аспект / Г. А. Балыхин. – М. : Экономика, 2003. – 428 с.
15. Abdelzahir Abdelmaboud, Dayang N.A. Jawawi, Imran Ghani, Abubakar Elsaifi, Barbara Kitchenham, Quality of service approaches in cloud computing: A systematic mapping study, *Journal of Systems and Software*, Volume 101, March 2015, Pages 159-179, ISSN 0164-1212, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2014.12.015>.
16. Daniel Carlos Gutiérrez, Elia Guadalupe Villegas, The Importance of Teaching Methodology in Higher Education: A Critical Look, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 174, 2015, Pages 377-382, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.677>.
17. Vladislav Serikov, Victoria Pichugina, Nina Saurenko, Project Approach as the Methodology of Constructing the Content and Technology of University Education, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Volume 214, 2015, Pages 399-406, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.686>.
18. Mária Durišová, Alžbeta Kucharčíková, Emese Tokarčíková, Assessment of Higher Education Teaching Outcomes (Quality of Higher Education), *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 174, 2015, Pages 2497-2502, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.922>.
19. Mahdi Bohlouli, Nikolaos Mittas, George Kakarontzas, Theodosios Theodosiou, Lefteris Angelis, Madjid Fathi, Competence assessment as an expert system for human resource management: A mathematical approach, *Expert Systems with Applications*, Volume 70, 15 March 2017, Pages 83-102, ISSN 0957-4174, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2016.10.046>.
20. Рыжков А. С. Управление качеством образования НУК по программе «2+2» с Международным морским колледжем Чжэцзян / А. С. Рыжков // Сборник научных работ НУК. – 2017. – № 2.
21. Learn with MATLAB and Simulink Tutorials [Электронный ресурс] / The MathWorks, Inc. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/support/learn-with-matlab-tutorials.html>.
22. Рыжков А. С. Управление качеством образования НУК по программе «3+X» с Международным морским колледжем Чжэцзян / А. С. Рыжков // Международный сборник научных работ НУК. – 2017. – № 1.
23. Рыжков А. С. Разработка методологии управления проектом по оказанию образовательных услуг иностранному заказчику / А. С. Рыжков // Сборник научных работ НУК. – 2017. – № 1.
24. Matthew Guay Project Management 101: The Complete Guide to Agile, Kanban, Scrum and Beyond [Электронный ресурс] / Zapier – Режим доступа : <https://zapier.com/learn/project-management/project-management-systems>.

References

1. On Higher Education : Law of Ukraine from 01.07.2014 № 1556-VII. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1556>.
2. The training of Chinese students abroad Development Report. (2013). Research Center of China and globalization, together with the Academy of Social Sciences of China.
3. Bobrytska, V.I. (2013). Mobilnist yak kliuchovyi pryntsyf formuvannia yevropeiskoho osvithnoho prostoru [Mobility as a key principle of forming a European educational space]. Proceeding from *Yevropeiska intehratsiia vyshchoi osvity Ukrainy v konteksti Bolonskoho protsesu: Teoretychnyi ta naukovo-metodychnyi chasopys «Vyshcha osvita Ukrainy» – European integration of higher education in Ukraine in the context of the Bologna Process number 3 (Annex 2): theoretical and scientific-methodical journal “Higher Education in Ukraine”*. Kyiv: Instytut vyshchoi osvity NAPN Ukrainy, pp. 234–238 (in Ukrainian).
4. Focus on Higher Education in Europe: The Impact of the Bologna Process. (2010). European Commission. Retrieved from http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic_reports/122EN.pdf.
5. The Bologna Process 2020 – The European, Higher Education Area in the new decade. (2009). Communique of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education. Leuven and Louvain-la-Neuve. Retrieved from https://www.eurashe.eu/library/modernising-phe/Bologna_2009_Leuven-Communique.pdf.
6. The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World (2013). Calculated based on the data from UNDP, Human Development Report.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Belikov, S.B., Klimov, O.V., Pavlenko, D.V., Tkach, D.V. (2013). Rehionalnyi rynok pratsi – faktor, shcho vyznachaie pidhotovku molodykh spetsialistiv [Regional labor market – a factor that determines the training of young specialists]. oceeding from *Yevropeiska intehratsiia vyshchoi osvity Ukrainy v konteksti Bolonskoho protsesu: Teoretychnyi ta naukovo-metodychnyi chasopys «Vyshcha osvita Ukrainy» – European integration of higher education in Ukraine in the context of the Bologna Process number 3 (Annex 2): theoretical and methodical journal "higher education in Ukraine"*. Kyiv: Instytut vyshchoi osvity NAPN Ukrainy, pp. 113–116 (in Ukrainian).
8. Ryzhkov, S.S. (2013). *Otchet rektora za 5 let raboty [Report of the rector for 5 years]*. Nikolaev: NUS Publishing (in Russian).
9. Bushuev, S.D. (ed.) (2000). *Kerivnytstvo z pytan proektnoho menedzhmentu [Guidelines for Project Management]* (Tran. from English). Kyiv: Business Ukraine (in Ukrainian).
10. Burkov, N.V., Novikov, D.A. (1998). *Modeli i mekhanizmy teorii aktivnykh sistem v upravlenii kachestvom podgotovki spetsialistov [Models and Mechanisms theory of active quality management systems in the preparation of professionals]*. Moscow: Research Center of quality control specialists preparation (in Russian).
11. Zinnurov, U.H., Guzairov, M.B. (1991). *Otsenka zatrat na podgotovku spetsialistov v zavisimosti ot kvalifikatsionnykh trebovaniy k vypuskniku [Comments expenses for the preparation of professionals in dependence from qualification requirements for graduate]*. Moscow: Its (in Russian).
12. Kadykova, I.M., Alferova, A.L., Chelpanova, I.V. (2010). Zastosuvannia zbalansovanoi systemy pokaznykiv dlia upravlinnia fakultetom VNZ [Applying Balanced Scorecard to manage university faculty]. *Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy mashynobudivnoi haluzi: Problemy teorii praktyky – Economics and Management Engineering industry: Theory Practice*, no. 3 (11), pp. 40–53 (in Ukrainian).
13. Hotomlyansky, O., Derevyanko, T. (2006). *Metodychni pytannia otsiniuvannia rezultativ profesiinoi diialnosti profesorsko-vykladatskoho skladu vyshchoho navchalnogo zakladu [Methodological issues of professional evaluation results of the teaching staff of higher education]*. *Osvita i upravlinnia – Education and Management*, vol. 9, № 3-4, pp. 145–151 (in Ukrainian).
14. Balykhin, G.A. (2003). *Upravlenie razvitiem obrazovaniia organizatsionno-ekonomicheskii aspekt [Management of education development, organizational-economic aspect]*. Moscow: Economics (in Russian).
15. Abdelzahir Abdelmaboud, Dayang N.A. Jawawi, Imran Ghani, Abubakar Elsafi, Barbara Kitchenham, Quality of service approaches in cloud computing: A systematic mapping study, *Journal of Systems and Software*, Volume 101, March 2015, Pages 159-179, ISSN 0164-1212, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2014.12.015>.
16. Daniel Carlos Gutiérrez, Elia Guadalupe Villegas, The Importance of Teaching Methodology in Higher Education: A Critical Look, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 174, 2015, Pages 377-382, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.677>.
17. Vladislav Serikov, Victoria Pichugina, Nina Saurenko, Project Approach as the Methodology of Constructing the Content and Technology of University Education, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 214, 2015, Pages 399-406, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.686>.
18. Mária Ďurišová, Alžbeta Kucharčíková, Emese Tokarčíková, Assessment of Higher Education Teaching Outcomes (Quality of Higher Education), *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 174, 2015, Pages 2497-2502, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.922>.
19. Mahdi Bohlouli, Nikolaos Mittas, George Kakarontzas, Theodosios Theodosiou, Lefteris Angelis, Madjid Fathi, Competence assessment as an expert system for human resource management: A mathematical approach, *Expert Systems with Applications*, Volume 70, 15 March 2017, Pages 83-102, ISSN 0957-4174, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2016.10.046>.
20. Ryzhkov, A.S. (2017). *Upravlenie kachestvom obrazovaniia NUK po programme "2+2" s Mezhdunarodnym morskim kolledzhem CHzhetszian [Quality Management of NUS educational program "2+2" with ZIMC]*. *Sbornik nauchnykh rabot NUK – Collections of the NUS Scientific works*. Nikolaev, № 2 (in Russian).
21. Learn with MATLAB and Simulink Tutorials. (2017). The MathWorks, Inc. Retrieved from <https://www.mathworks.com/support/learn-with-matlab-tutorials.html>.

22. Ryzhkov, A.S. (2017). Upravlenie kachestvom obrazovaniia NUK po programme "3+X" s Mezhdunarodnym morskim kolledzhem CHzhetszian [Quality Management of NUS educational program "3+X" with ZIMC]. *Sbornik nauchnykh rabot NUK – Collections of the NUS Scientific works*. Nikolaev, № 1 (in Russian).

23. Ryzhkov, A.S. (2017). Razrabotka metodologii upravleniia proektom po okazaniiu obrazovatelnykh uslug inostrannomu zakazchiku [Development of a project management methodology to provide educational services to the foreign customer]. *Sbornik nauchnykh rabot NUK – Collections of the NUS Scientific works*. Nikolaev, № 1 (in Russian).

24. Guay, Matthew. Project Management 101: The Complete Guide to Agile, Kanban, Scrum and Beyond. (2017). Retrieved from <https://zapier.com/learn/project-management/project-management-systems>.

Рыжков Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, руководитель Учебно-научного центра международного сотрудничества, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (просп. Героев Украины, 9, г. Николаев, 54025, Украина).

Рижков Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, керівник Навчально-наукового центру міжнародного співробітництва, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025, Україна).

Ryzhkov Alekandr – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Head of Centre Educational and Scientific Centre of International Cooperation, Admiral Makarov National University of Shipbuilding (9 Heroes of Ukraine Prospect (ex. Stalingrad), 54025 Nikolaev, Ukraine).

E-mail: oleksandr.ryzhkov@nuos.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0535-7722>

Олена Трунова

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ КОМПЕТЕНЦІЇ

Елена Трунова

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПЕТЕНЦИИ

Helen Trunova

DYNAMIC MODEL OF LIFE CYCLE COMPETENCE

З метою подальшого розвитку системно-інтеграційних уявлень про функціонування і розвиток майбутнього ІТ-спеціаліста, вивчення всіх складових компетентнісного підходу в процесі формування професійної компетентності запропоноване використання поняття життєвого циклу компетенції (ЖЦК).

Розглянуто динамічну модель ЖЦК та її основні п'ять фаз: планування, формування, зростання, зрілість, диверсифікація/занепад. Для кожної фази наведена її ґрунтовна характеристика, визначені мета, зміст, структура. Визначено фактори, що описують рух компетенції від однієї фази свого розвитку до іншої, та механізм переходу від стадії до стадії.

Ключові слова: компетентність, компетенція, динамічна модель життєвого циклу компетенції.

Рис.: 1. Бібл.: 13.

С целью дальнейшего развития системно-интеграционных представлений о функционировании и развитии будущего ИТ-специалиста, изучения всех составляющих компетентностного подхода в процессе формирования профессиональной компетентности предложено использование понятия жизненного цикла компетенции (ЖЦК).

Рассмотрена динамическая модель ЖЦК и ее основные пять фаз: планирование, формирование, рост, зрелость, диверсификация/упадок. Для каждой фазы приведена ее основательная характеристика, определены цели, содержание, структура. Определены факторы, описывающие движение компетенции от одной фазы своего развития к другой, и механизм перехода от стадии к стадии.

Ключевые слова: компетентность, компетенция, динамическая модель жизненного цикла компетенции.

Рис.: 1. Библ.: 13.

In order to further the development of system-integration ideas about the functioning and development of future IT specialists, the study of all components of competence approach in the formation of professional competence of the proposed use life cycle competence (LCC).

Considered LCC dynamic model and its five main phases: planning, formation, growth, maturity, diversification/decline. For each phase given its thorough description, outlining the purpose, content, structure. The factors describing the movement of competence from one phase of development to another gear and move from stage to stage.

Key words: competence, competency, dynamic lifecycle model of competence.

Fig.: 1. Bibl.: 13.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку України відбувається модернізація системи освіти. Однією з тенденцій реформування сучасної вищої школи є висунення як пріоритетного компетентнісного підходу в процесі підготовки фахівців у різних галузях знань.

Згідно з визначенням Міжнародного департаменту стандартів для навчання, досягнення та освіти (International Board of Standards for Training, Performance and Instruction (IBSTPI)) поняття компетентності визначено як набір знань, умінь і навичок, що дають змогу особистості ефективно проводити діяльність, завдання або виконувати роботу, функції, спрямовані на досягнення певних стандартів у професійній галузі або певній діяльності [3, с. 8–9].

Компетентним можна стати, опановуючи певні компетенції і реалізуючи їх у досвіді конкретної діяльності.

Компетенція – деяка відчужена, наперед задана вимога до підготовки особи (власливості або якості, потенційні здатності особи), наперед задана вимога щодо знань та досвіду діяльності у певній сфері.

Перед освітніми установами поставлено завдання випускати фахівців, що володіють не тільки певними знаннями і навичками, а навчити людину діяти в конкретній життєвій ситуації. Сформовані раніше освітні моделі не можуть повною мірою підготувати професійних фахівців, яких потребує сучасне суспільство. Введення в дію нових державних стандартів орієнтує освітні установи на результат навчання, що виражений новою компетенцією, тому перед ВНЗ стоїть завдання навчити студента діяти в умовах не-

визначеності, частоті зміни інформації, вмінні постійно вдосконалювати свій професійний рівень.

Результатом навчання є сформований набір компетенцій, тобто набір знань, навичок, здібностей, особистих якостей, необхідних для подальшого успішного професійного зростання, після завершення навчального процесу, якими повинен володіти випускник. Для розгляду всіх складових компетентнісного підходу зручно використовувати поняття моделі життєвого циклу компетенції (ЖЦК), введене в роботі [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати проведеного аналізу науково-технічної літератури, пов'язаної з впровадженням компетентнісного підходу в систему освіти, вказують на те, що це абсолютно нова парадигма в освіті, і, незважаючи на величезну кількість робіт у різних галузях науки, присвячених цій темі, залишається ще дуже багато недосліджених питань [1; 3].

Моделі ЖЦК, представлені в роботах [2, 4–9], не включають етапів планування і розроблення освітньо-професійної програми (ОПП), який є найбільш важливим, оскільки некоректний підбір дисциплін в ОПП не дозволить сформувати професійні компетенції, що вимагаються освітнім стандартом і роботодавцями.

Результати аналізу «вузьких місць» у дослідженні компетентнісного підходу в наукових роботах з прив'язкою до етапів ЖЦК виявлено, що життєвий цикл компетенції складається з двох етапів:

1. Процес планування і розроблення ОПП.
2. Процес реалізації ОПП, що включає два етапи: формування компетенції і контроль володіння компетенцією.

Аналіз показав, що найбільш недослідженим є процес планування і розроблення ОПП.

Мета статті. Головною метою статті є представлення нової моделі ЖЦК, яка могла б слугувати підґрунтям для створення інформаційної підтримки процесів планування і розроблення освітньо-професійної програми та інших фаз розвитку компетенції.

Виклад основного матеріалу. Сучасна освітня модель, в якій студент і викладач є рівноправними учасниками освітнього процесу, найскладнішими моментами якого є пробудження ініціативи і тяги до знань, пошуку мотивації до навчання для обох сторін. Студент у сучасному університеті – суб'єкт освітньої діяльності та її результат.

Компетенції – результат освіти, їх розвиток вимагає часу і взаємної участі студента і викладача. Характеристикою процесу формування компетенції є рівень її сформованості, що змінюється в часі. Метою процесу формування компетенції є певний рівень її сформованості, що дозволяє говорити про досягнення однієї з цілей компетентнісно-орієнтованої основної освітньої програми. Освоєння складових (компонентів) окремої компетенції зазвичай відбувається поступово.

Життєвий цикл компетенції може бути представлений у формі динамічної моделі (рис.).

Стрілка на рисунку вказує цільове спрямування розвитку процесу. Початковий момент формування компетенції позначимо через t_0 . Компетенція являє собою складну структуру, що складається з різних компонентів (знань, умінь, навичок і досвіду діяльності), формується поступово у процесі навчання. Тому весь процес формування компетенції можна розбити на окремі етапи. Проблемними питаннями побудови моделі життєвого циклу компетенції є питання про фактори, що визначають динаміку розвитку компетенції і механізми переходу від однієї стадії життєвого циклу до іншої.

Як фактор, що визначає рух компетенції від однієї фази свого розвитку до іншої, будемо розглядати сформованість відповідного рівня компетенції, а як механізм переходу від стадії до стадії – оцінювання успішності засвоєння компетенції (атестація).

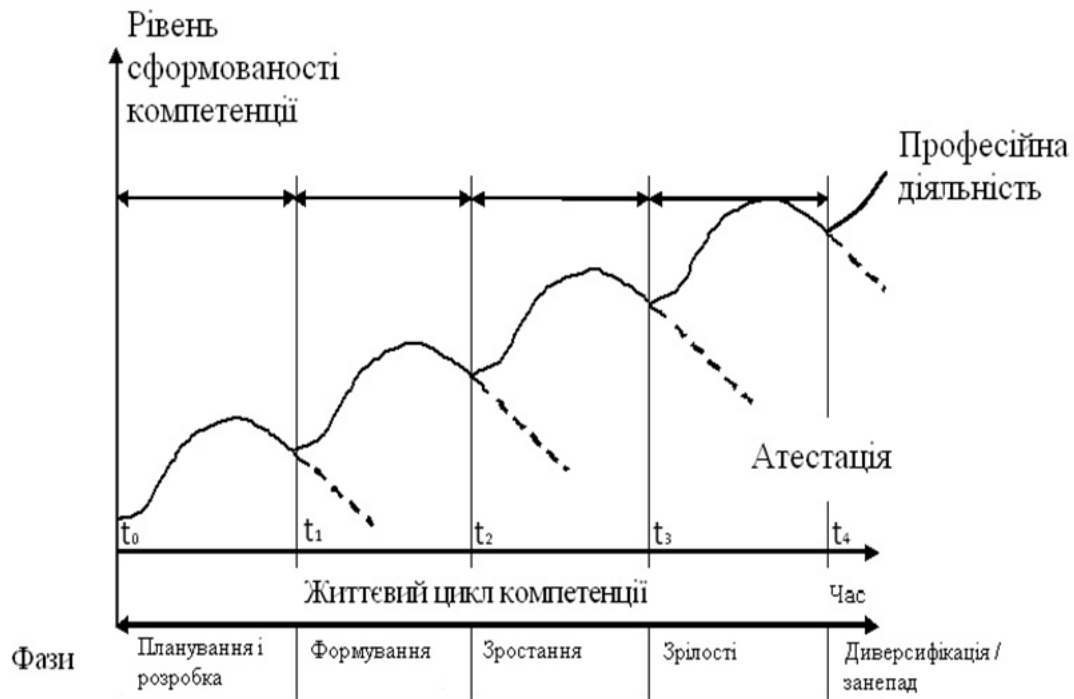


Рис. Динамічна модель життєвого циклу компетенції

Модель формування компетенції можна представити через послідовно-паралельно реалізовані підпроцеси формування частин компетенції (субкомпетенції) у межах освоєння окремих дисциплін або практичних розділів. Вона обов'язково містить процес моніторингу одержуваних результатів освоєння компетенції, що протікає паралельно.

Процес формування компетентності відбувається в межах багатьох дисциплін і практичних видів навчальної діяльності. Засвоєння субкомпетенції можна представити як підпроцес формування компетенції. Тоді вхідними даними в підпроцес предметного формування субкомпетенції буде рівень сформованості компонентів компетенції при вивченні попередніх дисциплін, а вихідними даними – рівень сформованості субкомпетенції, що означає успішне досягнення цільового результату в предметній галузі.

Базуючись на найбільш поширеній у теорії життєвого циклу п'ятиетапній моделі, теоретичне й емпіричне обґрунтування якої представлено в роботах багатьох зарубіжних дослідників [11–13], виділяємо у складі життєвого циклу компетенції такі п'ять фаз (етапів, процесів).

1. Фаза планування і розроблення (зародження) компетенції (t_0-t_1). Цей етап припускає перетворення на фундаментальному (менталітет, культура студента та викладача, інституційні та когнітивні механізми) і функціональному рівнях (структура, поведінкові патерни), що дозволяють сформувати синергетичний набір знань, технологій і навичок, які забезпечують студенту стійку конкурентну перевагу на ринку праці.

Фаза планування і розроблення містить такі підпроцеси: формування банку даних дисциплін, визначення набору компетенцій, формування структури ОПП, корегування документів освітньо-кваліфікаційної характеристики (ОКХ) і ООП, формування навчальних планів спеціальностей і робочих програм дисциплін.

Реалізація цього процесу передбачає залучення як експертів викладачів, студентів минулих років і роботодавців, у нашому випадку провідних спеціалістів ІТ-галузі. Для виділених експертним методом компетенцій необхідно встановити причинно-наслідкові зв'язки між результатами навчання в дисциплінах. Провести деталізацію об'єктів і видів діяльності цих компетенцій. Встановити бінарні відношення на множині об'єктів цих компетенцій «бути основою для».

Управління часовим запасом під час формування компетенцій студентів (бакалаврів, магістрів) можна здійснювати з використанням елементів мережевого планування, зокрема мереж Петрі.

Після того, як буде складено мережевий план формування компетенцій, можна провести розрахунок часового запасу, який може бути використаний для формування більш складної компетенції. Наприклад, формування компетенції кодування для майбутнього ІТ-спеціаліста починається тільки після того, як сформовані субкомпетенції теорії комп'ютерних систем і математики. У цьому випадку з часом можна збільшити (зменшити) аудиторне навантаження відносно дисциплін, що формують компетенцію кодування, виконуючи при цьому вимогу, пов'язану з обмеженням кількості аудиторних годин на тиждень (не більше 18 академічних годин на тиждень). Якщо цей критерій не виконується, то цей часовий запас може бути використаний для науково-дослідної роботи. Такий алгоритм може бути використаний у тому випадку, якщо для формування компетенції необхідно вивчити багато дидактичних одиниць, які формують довільну компетенцію. Результатом цього етапу є наявність ОПП та технологічних карт дисциплін.

2. *Фаза формування (t_1-t_2)*. Під час формування компетенції початковий рівень її сформованості в момент часу t_1 є результатом навчання на попередньому рівні освіти (у загальноосвітній школі) або в межах вивчення інших дисциплін. Початковий рівень сформованості компетенції враховується у процесі розроблення індивідуального плану підготовки студента (технологічної карти студента).

Фаза формування містить такі підпроцеси: зовнішнє незалежне тестування (з математики, фізики і т. ін.), вивчення дисциплін циклу математичної та природничо-наукової підготовки (дискретні структури, комп'ютерні числення тощо), поточний контроль, проміжний контроль. На етапі (t_1-t_2) формуються знання, вміння та навички, що становлять базову основу компетенції, без якої неможливий її подальший розвиток.

Досягнута база дозволяє перейти до наступного етапу. Для успішності освітнього процесу необхідно здійснювати контроль процесу формування компетенції та її окремих компонентів у деякі заздалегідь визначені моменти часу. Успішність освоєння компетенцій (субкомпетенцій) оцінюється на підставі цільових дескрипторів – якісних та кількісних критеріїв того, що мається на увазі під ознаками сформованості компетенції на цьому етапі контролю.

3. *Фаза зростання (t_2-t_3)*, на якій набувається досвід діяльності, коли окремі компоненти компетенції починають «працювати» в комплексі і відбувається вироблення індивідуального алгоритму продуктивних дій, спрямованих на досягнення поставленої мети.

Фаза зростання містить такі підпроцеси: вивчення дисциплін як циклу математичної та природничо-наукової підготовки, наприклад, комп'ютерна дискретна математика, теорія ймовірностей та математична статистика, так і циклу професійної та практичної підготовки (алгоритми та структури даних, моделювання та аналіз програмного забезпечення і т. ін.), поточний контроль, проміжний контроль, навчальна практика, науково-дослідна робота (НДР) і новий напрямок – робота у стартапах. Відзначимо, що досвід діяльності як діяльнісна складова процесу навчання є цементуючою основою процесу формування стохастичної компетенції майбутнього ІТ-спеціаліста, тобто діяльність стає предметом засвоєння. У процесі накопичення досвіду діяльності відбувається розвиток тієї частини компетенції, яка визначає готовність її використання в міру затребуваності та сприяє накопиченню у студента різних алгоритмів продуктивних дій. Додатково, паралельно з засвоєнням способів діяльності з актуалізації компонентів сформованої компетенції, накопичуються і нові знання, вміння і навички.

4. *Фаза зрілості*. Починаючи з деякого моменту часу t_3 відбувається поступовий перехід до оволодіння відповідною компетенцією (t_3-t_4). Це завершальний етап освоєння

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

компетенції, коли окремі її компоненти стають спільністю і починають працювати в комплексі.

Фаза зрілості складається з таких підпроцесів: виробнича практика, НДР, робота у стартапах, підсумкова атестація. Обов'язковий підсумковий контроль процесу формування сукупності компетенцій для оцінювання якості освітнього процесу загалом та оволодіння кожною компетенцією окремо. Підсумковий контроль рівня сформованості компетенції випускника ВНЗ здійснюється на етапі підсумкової державної атестації у формі захисту випускної кваліфікаційної роботи, оскільки в ній обов'язковим є демонстрація повною мірою володінням професійними компетенціями ІТ-спеціаліста. При цьому підсумкове оцінювання рівня сформованості компетенції повинно проводитися з урахуванням всіх проміжних атестацій випускника ВНЗ.

5. *Фаза диверсифікації/занепаду.* Вдосконалення і розширення сфери дії існуючої компетенції, або стагнації. Зауважимо, що завершальний етап формування професійних компетенцій обов'язково повинен бути практично-орієнтованим і носити міждисциплінарний характер, забезпечувати формування «володінь» і сприяти інтеграції результатів освіти з освоєнням компетенцій. Починаючи з деякого моменту часу t_4 розпочинається професійна діяльність випускника університету. Професійна компетентність випускника визначає його конкурентоспроможність на ринку праці, що для університету є показником результативності його освітньої діяльності.

Необхідно відзначити, що перераховані етапи формування компетенції повинні бути заплановані і реалізовані в межах ОПП ВНЗ.

Висновки і пропозиції. Процес планування і розробки ОПП декомпозований на підпроцеси: формування банку відповідних дисциплін, визначення набору компетенцій, формування структури ОПП, корегування ОКХ, розробки компетентнісно-орієнтованих робочих програм, створення технологічних карт дисциплін, індивідуальних траєкторій навчання.

Розроблена модель ЖЦК формує план подальших досліджень, надає можливість створення інформаційної підтримки, не тільки в межах ОПП. Необхідно розробити цілу мережу подібних процесів, що паралельно протікають, спрямованих на формування всіх компетенцій, представлених у заявленому переліку компетенцій ІТ-випускника. Слід зазначити, що поряд з моніторингом одержуваних результатів з освоєння компетенцій у межах окремих дисциплін, доцільно у процесі реалізації освітньої програми організувати проміжні контролю освоєння всіх заявлених компетенцій у формі «зрізу поточних результатів» на міждисциплінарному рівні (проміжних атестацій).

Подальші теоретичні дослідження поняття компетенції можуть бути спрямовані на удосконалення поняття компетенції команди та дослідження її впливу на життєвий цикл компетенції стартап команди.

Список використаних джерел

1. Герасимова В. А. Модели жизненного цикла компетенции / В. А. Герасимова, О. М. Шикунская // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СибАК, 2014. – № 11(36). – С. 23–28.
2. Каюкова И. В. Разработка математических методов и моделей анализа и прогнозирования качества обучения в вузе на основе компетентностного подхода : дис. ... канд. экон. наук : спец. 08.00.13 / Каюкова Инна Викторовна ; [Волгоградский государственный технический университет]. – Волгоград, 2014. – 138 с.
3. *Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: бібліотека з освітньої політики* / [Н. М. Бібік, Л. С. Ващенко, О. І. Локшина, О. В. Овчарук та ін.] ; під заг. ред. О. В. Овчарук. – К. : К.І.С., 2004. – 112 с.
4. *Лисицина Л. С.* Концепция и методология управления разработкой образовательного процесса по подготовке компетентных выпускников средствами сетевой информационной сис-

темы : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.13.06 / Лисицына Любовь Сергеевна ; [Санкт-Петербургский государственный университет]. – Санкт-Петербург, 2008. – 184 с.

5. Овчинников П. В. Математические модели и инструментарий проектирования адаптивных образовательных траекторий для подготовки конкурентоспособных специалистов в вузах : дис. ... канд. экон. наук : спец. 08.00.13 / Овчинников Петр Вячеславович ; [ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет»]. – Ростов-на-Дону, 2014. – 190 с.

6. Перова Л. Г. Комбинированное управление процессом формирования компетенций студентов технического вуза : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.10 / Перова Лариса Геннадьевна ; [Астраханский государственный технический университет]. – Астрахань, 2013. – 156 с.

7. Пирская А. С. Автоматизация управления образовательными траекториями студентов на основе результатов освоения компетенций ФГОС ВПО : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.06 / Пирская Анна Сергеевна ; [Санкт-Петербургский национальный университет информационных технологий, механики и оптики]. – СПб., 2012. – 229 с.

8. Сибикина И. В. Модели и алгоритмы формирования и оценки компетенций выпускника вуза : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.10 / И. В. Сибикина. – Астрахань, 2012. – 16 с.

9. Столбова И. Д. Адаптивное управление качеством предметной подготовки техническом вузе на основе компетентностного подхода : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.10 / Столбова Ирина Дмитриевна ; [Пермский национальный исследовательский политехнический университет]. – Пермь, 2012. – 339 с.

10. Тумбинская М. В. Принятие решений при оценивании знаний и управлении в интерактивной обучающей системе : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.10 / Тумбинская Марина Владимировна ; [Уфимский государственный авиационный технический университет]. – Уфа, 2011. – 167 с.

11. *Tightening the Life-Cycle Construct: A Taxonomic Study of Growth Stage Configurations in High-Technology Organizations* / S. H. Hanks, C. J. Watson, E. Jansen, G. N. Chandler // *Entrepreneurship Theory and Practice*. – 1993. – Vol. 18. – № 2. – Pp. 5–30.

12. Lester D. L. Organizational life cycle: A five stage empirical scale / D. L. Lester, J. A. Parnell, A. Carraher // *International Journal of Organizational Analysis*. – 2003. – Vol. 11 (4). – Pp. 339–354.

13. Smith K. G. Top level management priorities in different stages of the organizational life cycle / K. G. Smith, T. R. Mitchell, C. E. Summer // *Academy of Management Journal*. – 1985. – Vol. 28 (4). – Pp. 799–820.

References

1. Gerasimova, V.A., Shikulskaya, O.M. (2014). Modeli zhiznennogo tsikla kompetentsii [Models life cycle competence]. Proceedings of the *Tekhnicheskkiye nauki – ot teorii k praktike: sb. st. po mater. XL Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Engineering – From Theory to Practice: Proc. Art. on the mater. XL Intern. scientific-practical. Conf.* Novosibirsk: SibAK, pp. 23–28 (in Russian).

2. Kaiukova, I.V. (2014). Razrabotka matematicheskikh metodov i modelei analiza i prognozirovaniia kachestva obuchenii v vuze na osnove kompetentnostnogo podkhoda [Development of mathematical methods and models of analysis and prediction of the quality of teaching in high school on the basis of competence approach]. *Candidate's thesis*. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyi tehnikeskii universitet (in Russian).

3. Bibik, N.M., Vashhenko, L.S., Lokshy`na, O.I., Ovcharuk, O.V. (2014). *Kompetentnisnyi pidkhid u suchasniy osviti: svitovyi dosvid ta Ukrainiyski perspektivy [Kompetentnisny pidhid in suchasniy osviti: svitovy dosvid that Ukrainian perspective]*. K.: K.I.S. (in Ukrainian).

4. Lisitsina, L.S. (2014). Kontseptsii i metodologiiia upravleniia razrabotkoi obrazovatel'nogo protsessa po podgotovke kompetentnykh vypusnikov sredstvami setevoy informatsionnoi sistemy [The concept and methodology of managing the development of the educational process for the preparation of competent graduates by means of the network information system]. *Doctor's thesis*. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet (in Russian).

5. Ovchinnikov, P.V. (2014). Matematicheskie modeli i instrumentarii proektirovaniia adaptivnykh obrazovatelnykh traektorii dlia podgotovki konkurentosposobnykh spetsialistov v vuzakh [Mathematical models and tools for the design of adaptive educational trajectories for the preparation

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

of competitive specialists in higher education]. *Candidate's thesis*. Rostov-na-Donu: Yuzhno-Rossiiskii gosudarstvennyi politehnicheskii universitet (in Russian).

6. Perova, L.G. (2013) Kombinirovannoe upravlenie protsessom formirovaniia kompetentsii studentov tehniceskogo vuza [Combined control of the process of formation of competence of students of a technical college]. *Candidate's thesis*. Astrakhan: Astrakhanskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet (in Russian).

7. Pirskaia, A.S. (2012). Avtomatizatsiia upravleniia obrazovatelnyimi traektoriiami studentov na osnove rezultatov osvoeniia kompetentsii FGOS VPO [Automation of educational trajectories of students management based on competence development outcomes of the GEF VPO]. *Candidate's thesis*. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskii natsionalnyi universitet informatsionnykh tekhnologii, mehaniki i optiki (in Russian).

8. Sibikina, I.V. (2012). Modeli i algoritmy formirovaniia i otsenki kompetentsii vypusknika vuza [Models and algorithms of formation and evaluation of high school graduate competencies]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Astrakhan (in Russian).

9. Stolbova, I.D. (2012). Adaptivnoe upravlenie kachestvom predmetnoi podgotovki tehniceskogo vuze na osnove kompetentnostnogo podhoda [Adaptive management of the subject of training quality technical college on the basis of competence approach]. *Candidate's thesis*. Perm: Permskii natsionalnyi issledovatel'skii politehnicheskii universitet (in Russian).

10. Tumbinskaya, M.V. (2011). Priniatie reshenii pri otsenivanii znaniia i upravlenii v interaktivnoi obuchaiushchei sisteme [Decision-making in assessing the knowledge and management of the online learning system]. *Candidate's thesis*. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyi aviatsionnyi tekhnicheskii universitet (in Russian).

11. Hanks, S. H., Watson, C. J., Jansen, E., Chandler, G. N. (1993). Tightening the Life-Cycle Construct: A Taxonomic Study of Growth Stage Configurations in High-Technology Organizations. *Entrepreneurship Theory and Practice*, vol. 18 (2), pp. 5–30.

12. Lester, D. L., Parnell, J. A., Carraher, A. (2003). Organizational life cycle: A five stage empirical scale. *International Journal of Organizational Analysis*, vol. 11 (4), pp. 339–354.

13. Smith, K. G., Mitchell, T. R., Summer, C. E. (1985). Top level management priorities in different stages of the organizational life cycle. *Academy of Management Journal*, vol. 28 (4), pp. 799–820.

Трунова Елена Василівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Трунова Елена Васильевна – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Trunova Helen – PhD in Pedagogical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Information Technology and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: e.trunova@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0689-8846>

УДК 004.82

*Ирина Посадская***АРХИТЕКТУРА БАЗЫ ЗНАНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ***Ирина Посадська***АРХІТЕКТУРА БАЗИ ЗНАНЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ***Iryna Posadska***KNOWLEDGE BASE ARCHITECTURE OF AUTOMATED EDUCATIONAL SYSTEM**

В статье рассматриваются достоинства и недостатки разных видов представлений знаний в автоматизированных системах обучения. Сравнительная характеристика видов представлений знаний была получена на базе экспертных оценок. Предложена и обоснована архитектура базы знаний знание-ориентированной автоматизированной системы обучения.

Ключевые слова: автоматизированная система обучения, знание, база знаний, формализация, предметная область.

Рис.: 1. Табл.: 1. Библ.: 10.

У статті розглянуто переваги і недоліки різних видів представлень знань в автоматизованих системах навчання. Порівняльна характеристика видів представлень знань була отримана на базі експертних оцінок. Запропоновано та обґрунтовано архітектуру бази знань знаннеорієнтованої автоматизованої системи навчання.

Ключові слова: автоматизована система навчання, знання, база знань, формалізація, предметна галузь.

Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 10.

The advantages and disadvantages of different types of knowledge representation in automated learning system were considered in this article. Comparative characteristics of the types of knowledge representations were obtained on the basis of expert estimations. Knowledge base architecture of the knowledge-based automated learning system was proposed and substantiated.

Key words: automated learning system, knowledge, knowledge base, formalization, domain.

Fig.: 1. Tabl.: 1. Bibl.: 10.

Постановка проблемы. Автоматизированные системы обучения (АСО) предназначены для автоматизации подготовки специалистов с участием или без участия преподавателя (тьютора), обеспечивают процесс обучение, подготовку учебных материалов, управление процессом обучения и контроль его результатов. Одной из разновидностей АСО являются системы, базирующиеся на знаниях (АСОз). Основными пользователями данных систем являются ученик, тьютор, эксперт в предметной области и инженер по знаниям [1]. База знаний является ядром АСОз, поэтому иногда такие системы называют знание-ориентированными [2].

База знаний выступает не только как «накопитель», а и как механизм управления между функциональными модулями АСОз; между самой системой и знаниями. При проектировании таких систем важнейшей задачей является создание такой архитектуры базы знаний, которая будет обладать возможностями работы с различными видами представлений знаний, при этом сохраняя их в актуальном виде.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно взглядам Ю. И. Клыкова, знания – это совокупность данных, фактов и правил вывода о мире, которые включают в себя информацию о свойствах объектов, закономерностях процессов, явлений, а также правил, которые используются этой информацией для принятия решений [3].

Знание в системах обучения рассматривается как знание о предмете (предметной области учебного курса) и определяется как уверенное понимание предмета, умение самостоятельно обращаться и разбираться в нем, а также использовать его для достижения намеченных целей [4].

База знаний (БЗ) – это совокупность средств, которые обеспечивают хранение, поиск и преобразование знаний.

Среди широкого спектра представления знаний о предметной области курса существуют естественно-языковые представления учебного курса, формализованные представления фрагментов предметной области в виде диаграмм UML [5], формализованные представления, базирующиеся на определенном исчислении, таком как исчисление

предикатов 1-го порядка [6], фреймы [7], производственные правила [8] и др. Однако каждый из видов имеет как свои достоинства, так и свои недостатки.

Целью статьи является описание и обоснование архитектуры базы знаний для знание-ориентированной автоматизированной системы обучения.

Изложение основного материала. Рассмотрим достоинства и недостатки каждого из указанных выше видов представлений знаний. **Естественно-языковые представления** ориентированы на человека (в плане ролей – на тьютора, студента, эксперта в предметной области). Текст учебного курса разбивается на разделы, параграфы, подпараграфы и т. д. Навигация между отдельными частями текстового представления осуществляется с помощью оглавления, и как во многих видах текстовых документов, имеется терминологический словарь.

Достоинством естественно-языкового (ЕЯ) текстово-графического представления предметной области курса является ориентация на человека, что обеспечивает использование его во всех автоматизированных обучающих системах.

Недостатками естественно-языковых представлений знаний учебного курса являются:

- отсутствие формализации в структуре естественного языка;
- наличие большого количества неопределенностей, синонимов, антонимов;
- структуризация текстового документа ограничивается его оглавлением и при наличии страничного разбиения текста в какой-то степени, терминологическим словарем;
- информация, включаемая в разделы, подразделы может не носить целостный характер, что не свойственно предметной области.

Формализованное UML-представление предметной области имеет графический интерфейс, понятный специалистам по знаниям, фиксированную семантику элементов языка, более строгую семантику языковых конструкций. Фактически, UML – это многоязыковая система, способная описывать как статику (классовые диаграммы), так и динамику предметной области (диаграммы последовательностей, диаграммы состояний, диаграммы активностей) [5]. Несмотря на солидный теоретический фундамент, для некоторых подязыков UML семантика его языковых конструкций оставляет желать лучшего. Тем не менее, с помощью UML можно добиться компактного описания предметной области. Опыт использования UML, приобретенный при объектно-ориентированном проектировании программных систем, связанный с преобразованием текстового описания системы в UML диаграммы, позволяет надеяться на возможность его использования как средства организации баз знаний в АСОЗ.

Формализация описания предметной области, базирующаяся на использовании определенных математических теорий, в сильной степени определяется свойствами этих теорий и достаточно далеки от текстовых описаний. Процесс такой формализации предметной области, отталкиваясь от понятных человеку текстовых описаний, является достаточно трудоемким и требует задействования экспертов в данных теориях. Например, построение динамической предметной области в виде сети Петри [9] или полумарковского процесса [10] при описании реальных систем является нетривиальной задачей. То же можно сказать о попытках использования для формализации представления предметной области различных вариаций математической логики, включая теорию предикатов первого порядка, различные системы на основе логических правил и т. д. Однако эти формализмы позволяют использовать при анализе формализованных представлений предметной области (ПО) развитый математический аппарат, включая механизмы логического вывода, имитационное моделирование и др. Сводная информация о возможностях различных вариантов представлений ПО, полученная на базе экспертных оценок, дана в таблице.

Таблица

Сравнительные характеристики различных представлений знаний о предметной области

Сравнительные характеристики различных представлений знаний о предметной области	Степень близости к конечному пользователю	Уровень формализации	Возможности удобного описания структуры системы	Возможности удобного описания динамических свойств ПО
Естественно-языковые представления ПО учебного курса (УК)	5	0	1	1
UML	4	3	4	4
Логические исчисления в виде предикатов	1	5	4	3
Логические исчисления в виде правил	2	5	2	3
Фреймы	1	3	1	1

Из таблицы видно, что наилучшего представления знаний об учебном курсе не существует. Более того, имеется необходимость в АСОз использовать несколько его представлений в соответствии с целями использования:

- при работе тьютора и ученика – текстовые представления;
- при автоматизированной оценке знаний ученика – UML, логические исчисления;
- при адаптации учебного материала к уровню знаний ученика – текстовые представления, UML.

В таблице использованы два критерия метода представления знаний:

- близость научного сленга, на котором описывается учебный курс, к естественному языку (ЕЯ) обучаемых и лиц, подготавливающих учебный материал для использования в АСОз;
- возможность контролировать усвоение учебного материала.

Очевидна важность первого критерия: чем ближе сленг к родному естественному языку пользователя, тем больше возможностей для восприятия, анализа и препарирования учебного материала как для ученика, так и для лиц, готовящих информацию курса для АСОз.

Для оценки степени важности второго критерия необходимо помнить, что основным для контроля при обучении является проведение опросов по пройденному материалу (экзамен).

От степени покрытия вопросами предметной области учебного курса и от степени сложности вопросов напрямую зависит качество тестовой последовательности, предоставляемой экзаменуемому. Естественно, на каждый из вопросов может быть дан правильный или неправильный ответ, и на базе ответов на все вопросы тестовой последовательности формируется интегральная оценка степени усвоения учебного материала.

Можно заметить, что описанная выше процедура контроля чрезвычайно сходна с процессом тестирования программ. Здесь, как и в случае тестирования программ, для каждого элемента тестовой последовательности экзаменатору нужно или заранее знать ответ, или воспользоваться механизмом вычисления самого ответа, или любым другим образом уметь определять правильность ответа.

Вторым пунктом сходства процесса контроля знаний и процесса тестирования программ является наличие бесконечного числа тестовых последовательностей для контроля степени усвоения порции учебного материала. Поэтому в программной инженерии для тестирования программ выработаны стратегии формирования ограниченного числа тестовых последовательностей, позволяющие существенно снизить их количество при контроле степени усвоения учебного материала.

Заметим, что одной из популярных стратегий, используемых при white box тестировании, является требование покрытия графа программы или автоматной модели программы набором путей для тестовой последовательности, покрывающих граф программы или граф состояний автоматной модели.

Учитывая то, что, как правило, модель предметной области также представима в виде пары

$$G_{\text{ПО}} = \langle E, R \rangle,$$

где E – набор сущностей, R – набор отношений.

Для любого структурного представления предметной области, в том числе и UML при контроле знаний можно использовать стратегию покрытия, соответствующую тому или иному типу диаграмм.

Структурные представления предметной области позволяют сформулировать определение еще одного важного показателя качества системы контроля знаний – сложность тестов.

Тест будем называть *простым*, если ответ на него находит непосредственное отражение в структурном (графовом) представлении предметной области. Примерами могут быть вопросы о наличии сущностей и связей, вопросы об их характеристиках, ответы на которые прямым образом отражены в структуре предметной области учебного курса.

Тест будем называть *сложным*, если ответ на вопрос требует решения задачи над предметной областью.

Для структурных представлений предметной области это может быть задача нахождения кратчайшего пути, задача о разметке графа, задача проверки свойств графа и многое другое. Поскольку получение ответа на вопрос для сложного теста может потребовать привлечения алгоритмов различной степени специализации. Метод представления предметной области здесь играет существенную роль. Так, например, использование для этих целей логических исчислений дает возможность использовать механизмы универсальных решателей задач, в частности, одну из разновидностей метода резолюций.

И, наоборот, при естественно-языковом представлении предметной области единственным механизмом структуризации является разбиение учебного курса на разделы, подразделы, параграфы, подпараграфы и т. д., что находит свое отображение в оглавлении курса. Последнее предполагает организацию ссылок на ЕЯ текст курса. Не исключено при этом разбиение ЕЯ текста на страницы. Однако такой способ структуризации крайне ограничивает возможности автоматизации контроля.

Поскольку порция ЕЯ представления текста, помимо синтаксической структуры, не имеет другого способа структуризации, автоматический контроль сводится к вопросам типа «Как называется раздел, параграф» и т. д.?

Использование в некоторых АСОз, ориентированных на ЕЯ представление предметной области, вопросников, направленных на выявление смысла в порции учебного материала, не опирается на формализованное представление предметной области, а скорее отражает мнение эксперта в предметной области курса. Поэтому сложно судить о степени освоения учебного материала или о его сложности.

Подводя итог, можно отметить, что нет однозначного ответа на вопрос о лучшей форме представления предметной области для базы знаний АСОз. В последовательности представлений «ЕЯ → UML → Логическое исчисление» происходит уменьшение значений первого критерия и возрастание для второго.

Исходя из вышесказанного, в качестве архитектуры базы знаний АСОз можно использовать структуру, представленную на рисунке.

УК НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

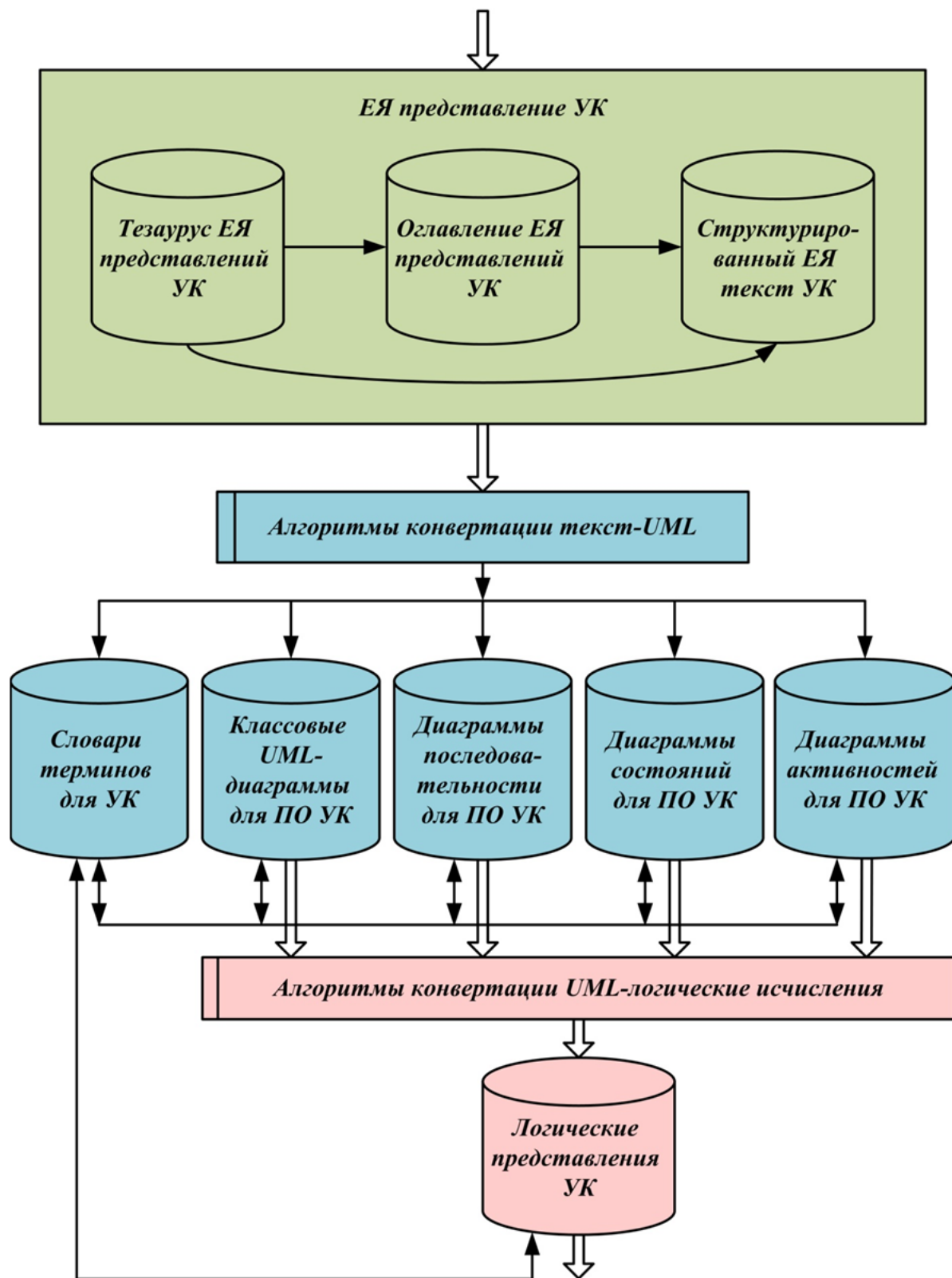


Рис. Архитектура БЗ АСОз

Особенности базы знаний знание-ориентированных систем обучения:

– БЗ АСО использует все три способа представления предметной области, что на рис. выделено разными цветами, представляющими собой слои. Первый слой предназ-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

начен для ученика и тьютора, а в части формирования – экспертом в предметной области и инженером по знаниям, второй предназначен для работы инженера по знаниям, третий используется для создания вопросников при контроле знаний.

– Имеются средства автоматизированного формирования слоя структурного представления по данным слоя ЕЯ – текстового представления предметной области. Эти средства в основном используются экспертом в предметной области и инженером по знаниям.

– Имеются средства автоматического формирования слоя логического представления по информации слоя структурного представления.

– Имеются модули генерации простых вопросов и задач соответственно для 2-го и 3-го слоев.

– Имеются модули решения задач как на уровне второго слоя, так и универсальный решатель для 3-го слоя.

Выводы. Предложенная архитектура позволяет сохранять и эффективно использовать преимущества каждого из слоев представления знаний в общей системе. При данной архитектуре важную роль в обеспечении эффективности работы системы играют преобразователи «ЕЯ текст→UML» и «UML→Логические представления».

Такая архитектура дает возможность хранить знания в актуальном виде, не влияя на взаимодействие функциональных модулей АСОЗ.

Список использованных источников

1. Lytvynov V. Knowledge representation in the automated learning systems / Vitalii Lytvynov, Iryna Posadska // International Journal “Information Technologies & Knowledge”. – 2015. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 34–43.

2. Литвинов В. В. Архитектура знание-ориентированной автоматизированной системы обучения / В. В. Литвинов, И. С. Посадская, М. В. Савельев // Технічні науки та технології. – 2016. – № 3 (5). – С. 122–130.

3. Клыков Ю. И. Банки данных для принятия решений / Ю. И. Клыков, Л. Н. Горьков. – М. : Сов. радио, 1980. – 208 с.

4. Шустов С. Б. Теория ресурсов и ресурсные кризисы: прошлое, настоящее и будущее: аналитический обзор / С. Б. Шустов. – Нижний Новгород : Нижний Новгород, 2009. – 163 с.

5. Bruce Powel Douglass. Real – Time UML. Second Edition. Developing Efficient Objects for Embedded Systems / Bruce Powel Douglass. – Wesley, 1999. – 238 p.

6. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта : пер. с франц. / Ж.-Л. Лорьер. – М. : Мир, 1991. – 568 с.

7. Minsky M. A Framework for Representing Knowledge: Patrick Henry Winston / Marvin Minsky // The Psychology of Computer Vision. – McGraw-Hill : New York (U.S.A.), 1975. – 76 p.

8. Искусственный интеллект. Кн. 2: Модели и методы : справочник / под ред. Э. В. Попова. М. : Радио и связь, 1990. – 303 с.

9. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 264 с.

10. Королюк В. С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В. С. Королюк, А. Ф. Турбин. – К. : Наук, думка, 1982. – 236 с.

References

1. Lytvynov, V., Posadska, I. (2015). Knowledge representation in the automated learning systems. *International Journal “Information Technologies & Knowledge”*, vol. 9, no. 1, pp. 34–43.

2. Litvinov, V.V., Posadskaya, I.S., Savelev, M.V. (2016). Arkhitektura znanie-orientirovannoi avtomatizirovannoi sistemy obucheniia [Architecture of knowledge-oriented automated system of learning]. *Tekhnichni nauki ta tekhnologii – Technical Sciences and Technologies*, no. 3 (5), pp. 122–130 (in Russian).

3. Klykov, Iu.I., Gorkov, L.N. (1980). *Banki dannykh dlia priniatiia reshenii [Databases for decision-making]*. Moscow: Sov. radio (in Russian).

4. Shustov, S.B. (2009). *Teoriia resursov i resursnye krizisy: proshloe, nastoiashchee i budushchee: analiticheskii obzor [The theory of resources and resource crises: past, present and future: an analytical review]*. Nizhnii Novgorod: Nizhnii Novgorod (in Russian).
5. Douglass, Bruce Powel (1999). *Real - Time UML. Second Edition. Developing Efficient Objects for Embedded Systems*. Wesley.
6. Lorier Zh.-L. (1991). *Sistemy iskusstvennogo intellekta [Artificial Intelligence Systems: Translation from French]* [Trans. from French]. Moscow: Mir (in Russian).
7. Minsky, Marvin (1975). *A Framework for Representing Knowledge: Patrick Henry Winston. The Psychology of Computer Vision. McGraw-Hill: New York (U.S.A.)*.
8. Popova, E.V. (ed.) (1990). *Iskusstvennyi intellekt. Kn. 2: Modeli i metody: spravochnik [Artificial Intelligence. Book 2: Models and Methods: A Handbook]*. Moscow: Radio i sviaz (in Russian).
9. Piterson, Dzh. (1984). *Teoriia setei Petri i modelirovanie sistem [The theory of Petri nets and modeling systems]*. Moscow: Mir (in Russian).
10. Korolyuk, V.S. & Turbin, A.F. (1982). *Protsessy markovskogo vosstanovleniya v zadachakh nadezhnosti sistem [Markov renewal processes in systems reliability problems]*. Kiev : Nauk. dumka (in Russian).

Посадская Ирина Сергеевна – ассистент кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Посадська Ірина Сергіївна – асистент кафедри інформаційних технологій і програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Posadska Iryna – assistant of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chtrnihiv, Ukraine).

E-mail: irrkin@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4905-2552>

ASSESSMENT OF THE WASHING MACHINES SOUND QUALITY BY THE BINAURAL MEASUREMENT SYSTEMS*Мареk Моравець, Павол Ліптай, Ян Збойовський, Анна Бадідова***ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗВУКУ ПРАЛЬНИХ МАШИН БІНАУРАЛЬНИМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ***Мареk Моравець, Павол Ліптай, Ян Збойовський, Анна Бадідова***ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗВУКА СТИРАЛЬНЫХ МАШИН БИНАУРАЛЬНЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ**

The target and goal of psychoacoustics is to understand how people perceive and experience different sounds. Psychoacoustic is joining the field of acoustic and psychology. Sound quality is a perceptual reaction to the sound that reflects the listener's reaction.

Keywords: sound quality, binaural hearing, psychoacoustics.

Fig.: 3. Tabl.: 4. Bibl.: 10.

Мета психоакустики – дізнатися реакцію людей на сприйняття різних звуків. Психоакустика поєднує акустику і психологію. Якість звуку – це сприйнятлива реакція на звук, тобто відображення реакції слухача.

Ключові слова: якість звуку, бінауральне слухання, психоакустика.

Рис.: 3. Табл.: 4. Бібл.: 10.

Цель психоакустики – узнать реакцию людей на восприятие различных звуков. Психоакустика соединяет акустику и психологию. Качество звука – это восприимчивая реакция на звук, то есть отображение реакции слушателя.

Ключевые слова: качество звука, бинауральное слушанье, психоакустика.

Рис.: 3. Табл.: 4. Библ.: 10.

Introduction. Psychoacoustics is the study of the perception of sound. This includes how human listen, their psychological responses, and the physiological impact of sound upon the human nervous system. Psychoacoustics is a multidisciplinary field that deals with the physical, physiological, and perceptual correlates of sound production, transmission, and reception. Sound quality is often joined with the psychoacoustic. Definition of sound quality is no definitive and there are more explanations of the sound quality. The term product sound quality refers to the adequacy of the sound from a product [4]. Another definition of sound quality is a perceptual reaction to the sound of a product that reflects the human reaction to how acceptable the sound of that product is [5].

1. Assessment methods

There are two basic methods for evaluation of the sound quality. These two methods are jury testing and objective assessment by the psychoacoustics and sound quality metrics. Jury testing consists of asking customer opinions to sounds of products. Realization of jury testing is very difficult, time consuming and is very dependent on the context [8]. Due this reason was created metrics that directly relate to subjective response. Individual metrics do not give exact indication of the sound quality of the product as a whole and indeed for different products no metrics may currently exist to adequately quantify the subjective impression. There are a wide variety of metrics for evaluations of the sound quality [1; 2; 3]. Sound quality metrics are:

- loudness,
- roughness,
- sharpness,
- tonality,
- fluctuation strength.

Once you have established appropriate metrics for evaluation sound quality, this means that quick and easy measurements of sound quality can be realized using special devices and tools. However, it can sometimes be difficult to define appropriate metrics.

2. Binaural measurement systems – artificial head

Artificial head is basic tool for evaluation of the sound quality of the products and the target of the artificial head is to get apart from the classic technique evaluation. Recordings with conventional measurement systems are not suitable for an aurally accurate evaluation of an acoustic signal, because substantial acoustic information such as the spatial array of sound sources and the selectivity of sound perception gets lost [6; 7].

Artificial heads are stand- alone measuring devices for processing aurally accurate recordings. Artificial head construction and geometry offers:

- a mathematically describable reproduction of the human head and body torso,
- an accurate reproduction of all acoustic important parts of the human outer ear.

Nowadays there is more relevant producers of the artificial head with very similar possibilities. Companies such Head Acoustic, Brüel & Kjaer, G.R.A.S., provide these binaural measurement systems as shown fig. 1.



Fig. 1. Artificial heads [7, 9, 10]

3. Experimental measurements

The aim of experimental measurements was determining psychoacoustic metrics for three washing machines and comparison the psychoacoustics metrics with measurements of sound quantity emitted by the washing machines that is represented by the determination of acoustic sound power level. For measurement was selected spinning program of the washing machine. Spinning is most critical according the noise emissions. For evaluation was selected following psychoacoustic metrics: sharpness, roughness, loudness, tonality and fluctuation strength. Measurement was realized in semi anechoic chamber with reflective plate as shown fig. 2. Type of washing load was 6 kg laundry. Measurement of sound power levels was determined according to EN 60704-1; EN 60704-2-4.



Fig. 2. Measurement of the sound power level and psychoacoustic metrics in semi anechoic chamber

For measurement was selected three washing machines from different producers. Washing machines are from the same premium class with very similar technical specifications. Measured washing machines are shown in fig. 3.



Fig. 3. Measured washing machines

4. Results and discussion

Results of measurement and determination of sound power level according to EN 60704-1; EN 60704-2-4 are presented in table 1.

Table 1

Sound power levels

Wasching machine	Sound power level [dB]
Wasching machine 1	75,1
Wasching machine 2	73,1
Wasching machine 3	74,0

From the obtained results is clear that highest sound power level reach washing machine 1 and lowest sound power level reach washing machine 2.

Next table 2 presents measurement and determination of psychoacoustic metrics.

Table 2

Psychoacoustic metrics

Washing machine	Roughness [asper]	Sharpness [acum]	Loudness [soneGF]	Tonality [ton]	Fluctuation strength [vacil]
Washing machine 1	1,36	2,75	8,1	0,0785	0,0265
Washing machine 2	1,31	1,93	6,96	0,0702	0,0305
Washing machine 3	1,6	1,84	7,06	0,0345	0,0288

Evaluation assumptions

- Importance of all psychoacoustic parameters is equal,
- Lowest reached value of all psychoacoustic parameters is best and increased value of those parameters means worse psychoacoustic properties,

Evaluation methodology

- Determination of minimum and maximum measured values for each parameter,
- Calculation of relative values for each parameter,

$$p_{rel} = x_{abs}/x_{max}$$

- Calculation of overall index h_f , individually for spin,

$$h_f = w_1 \cdot p_{1rel} + w_2 \cdot p_{2rel} + w_3 \cdot p_{3rel} + w_4 \cdot p_{4rel} + w_5 \cdot p_{5rel}$$

w_x – weight of psychoacoustic parameter (same for each parameter, value=1/5)

p_{rel} – relative value of parameter

Computed standardized values for each washing machine are presented in table 3.

Table 3

Standardized relative values of psychoacoustic metrics

Washing machine	Roughness P_1	Sharpness P_2	Loudness P_3	Tonality P_4	Fluctuation strength P_5
Washing machine 1	0,85	1	1	1	0,8688525
Washing machine 2	0,81875	0,70181818	0,85925926	0,89426752	1
Washing machine 3	0,81875	0,66909091	0,85925926	0,43949045	0,8688525

For the each psychoacoustic metrics was set the same importance. According these conditions was calculated overall index of the psychoacoustic valuation for individual washers. Overall valuation of psychoacoustic metrics according standardized values is shown in table 4. Highest value means worst psychoacoustic properties.

Table 4

Overall valuation index

Washing machine	Overall valuation index h_f
Washing machine 1	0,942
Washing machine 2	0,850
Washing machine 3	0,797

Conclusions. Measurement was realized for three washing machines from different producers. Classic measurement was realized for determination of sound power level by the classic microphones. Result of these measurements presents the quantity of power emitted by the washing machine. Determination of psychoacoustic metrics was realized by the artificial head – binaural measurement systems. Result of these measurements presents the quality of the sound emitted by the washing machine. Comparison of these two types of valuation shows the different ranking of noise performance individual washing machines. By the valuation of sound power level best noise performance shows washing machine 2 and worst washing machine 1. Assessment of the psychoacoustic metrics shows that best psychoacoustic performance shows washing machine 3 and worst washing machine 1. Comparing these two methods was obtained different rankings of washing machines. That means the quantity of emitted sound is not still most important. Ranking based on the assessment of psychoacoustic metrics shows other ranking that is more similar and more accurate for human hearing. The sound of washing machine 3 is less annoying for human than sound of machine 2 and 1. But these results should be verified by the jury study that can bring new knowledge. Correlation the jury study and realized measurements can provide more objective results.

Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-15-0327.

References

1. Zwicker, E. - Fastl, H.: Psycho-acoustics, Springer Technik, Berlin, 1999. ISBN 3-540-65063-6.
2. Müller, G. - Möser, M.: Taschenbuch der Technischen Akustik, Springer, 2004. ISBN 3-540-41242-5.
3. Angus, J. – Howard, D.: Acoustics and psychoacoustics. Taylor & Francis Ltd., 2009, 496 p. ISBN 0240521757.
4. Vorlander, M.: Auralization. Springer-Verlag Berlin, 2010, 335 p. ISBN 978-3-642-08023-4.
5. Neuhoff, J.: Ecological psychoacoustics, Elsevier, San Diego, USA, 2004. 350 p. ISBN 0-12-515851-3
6. Flegner, P., Kačur, J., Durdán, M., Leššo, I., Laciak, M., "Measurement and processing of vibro-acoustic signal from the process of rock disintegration by rotary drilling" In: Measurement. Vol. 56 (2014), p. 178-193, ISSN 0263-2241.
7. www.head-acoustics.de.
8. www.salford.ac.uk.
9. www.bksv.com.
10. www.norsonic.com.

Marek Moravec – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Маре́к Моравець – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Маре́к Моравец – доктор технических наук, доцент, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.moravec@tuke.sk

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8878-3457>

Scopus Author ID: 55971454800

Pavol Liptai – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Паво́л Ліптай – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Паво́л Ліптай – доктор технических наук, доцент, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: pavol.liptai@tuke.sk

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8197-6627>

Scopus Author ID: 56006964600

ResearcherID: P-2766-2016

Ján Zbojovský – Doctor of Technical Sciences, Research Fellow, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Я́н Збо́йовський – доктор технічних наук, науковий співробітник, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Я́н Збо́йовский – доктор технических наук, научный сотрудник, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: jan.zbojovsky@tuke.sk

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4383-3996>

Scopus Author ID: 56119728300

Researcher ID: R-3952-2016

Anna Badidová – PhD student of Technical Sciences, Assistant professor, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

А́нна Ба́дідова – аспірант, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

А́нна Ба́дідова – аспирант, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: anna.badidova@tuke.sk

Scopus Author ID: 57189220135

UDC 621.311

*Volodymyr Stepashko, Andrii Trachuk***DEVELOPMENT OF FORECASTING SCENARIOS OF THE ELECTRICITY CONSUMPTION IN UKRAINE BY USING THE GROUP METHOD OF DATA HANDLING***Володимир Степашко, Андрій Трачук,***РОЗРОБКА ПРОГНОЗНИХ СЦЕНАРІЇВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ***Владимир Степашко, Андрей Трачук***РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ СЦЕНАРИЕВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ГРУПОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ**

Розглянуто проблемні питання споживання електроенергії по Україні. Проаналізовано динаміку споживання електроенергії та запропоновано методичні рекомендації щодо ефективного використання електроенергії. Досліджені прогностичні сценарії споживання електроенергії загалом по всій Україні. Базовою основою формування енергосистеми України є побудова прогностичних сценаріїв за різними видами енергоресурсів та різноманітними критеріями ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів. Проблема ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів постає дуже важливою для сталого економічного розвитку енергетики на фоні збереження залежності національної економіки від імпорту енергоносіїв, а також зростання цін на дані ресурси. Вирішення цієї проблеми пов'язано не тільки з забезпеченням енергетичної безпеки країни, але також із підвищенням рівня розвитку регіонів країни та забезпечення якості життя його населення.

Ключові слова: енергетичний баланс; енергозбереження; енергоефективність; енергетична статистика.

Табл.: 7. Бібл.: 6.

Рассмотрены проблемные вопросы потребления электроэнергии по Украине. Проанализирована динамика потребления электроэнергии и предложены методические рекомендации относительно эффективного использования электроэнергии. Исследованы прогнозные сценарии потребления электроэнергии в целом по всей Украине. Базовой основой формирования энергосистемы Украины является построение прогнозных сценариев по различным видам энергоресурсов и разнообразным критериям эффективного использования топливно-энергетических ресурсов. Проблема эффективного использования топливно-энергетических ресурсов возникает крайне важной для устойчивого экономического развития энергетики на фоне сохранения зависимости национальной экономики от импорта энергоносителей, а также рост цен на данные ресурсы. Решение данной проблемы связано не только с обеспечением энергетической безопасности страны, но также с повышением уровня развития регионов страны и качества жизни его населения.

Ключевые слова: энергетический баланс; энергосбережение; энергоэффективность; энергетическая статистика.

Табл.: 7. Библ.: 6.

Considered problem issues of electricity consumption in Ukraine. The dynamics of energy consumption and the proposed guidelines gait efficient use of electricity. Researched and projected scenarios projected electricity consumption in general throughout Ukraine. The basic foundation of the formation of the Ukraine grid construction is forecasting scenarios for different types of energy and the various criteria for effective use of energy resources. The problem of efficient use of energy resources raises crucial for sustainable economic development against the backdrop of energy saving national economy depends on energy imports, on the one hand, and rising prices for these resources. The solution to this problem is not only with ensuring energy security, but also with the level of development of regions and the quality of life of its population.

Key words: energy balance; energy conservation; energy efficiency; energy statistics.

Табл.: 7. Bibl.: 6.

Introduction. Forecasting of electricity consumption in Ukraine today is an extremely important issue of strategic importance because due to conducted analysis and build predictive models may be developed guidelines for efficient production and consumption across Ukraine as a whole.

The aim of the work is to develop a methodological provisions for forecasting electricity consumption in Ukraine through the use of Group Method of Data Handling.

Statement of main material and research results. The level of energy has a decisive influence on the development of the state economy, solving social problems and living standards of citizens. Changes in energy prices immediately displayed in all industries, and the rest, the price of the final product. Therefore, instead of quantitative objectives of energy develop-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ment, which was followed by Ukraine's economy in recent decades, energy has to go to power sustainable economic development, the targeted today developed countries. The said research leads scientists to balance the energy balance of Ukraine, which determined the relevance of the work. In the traditional understanding of energy balance is like the relation between extraction (production) and consumption of different types of energy resources.

The formulation of energy balance is a complex strategic statements of economic development, the definition of forecast consumption of energy based on adopted policies to increase energy efficiency, the development of the fuel and energy sector and assess options extraction and production of fuel and energy, as well as forming lines import- export policy and determine the volume of purchase and sale of energy.

One of the mathematical methods of forecasting is group method of data handling that allows you to build adequate models predicted energy consumption energy balance in the system of Ukraine.

By using the Group Method of Data Handling and by using modern software were built prediction models of energy resources in the system of energy balance of Ukraine:

1. Projected system model prediction for next year depends on the values for the previous year, offset (-1):

$$Y1 = 89,726 + 0*Y1(-1) - 12,174*Y2(-1) + 0*Y3(-1);$$

$$Y2 = 0,3592 + 0*Y1(-1) + 0*Y2(-1) + 1,3623*Y3;$$

$$Y3 = 0,0000 + 0*Y1(-1) + 0*Y2(-1) + 1.0149*Y3(-1).$$

Comment: Y1 (Final energy consumption (FEC), ths. t o.e.) Depends on Y2 (-1) (last year) and Y2 (primary energy intensity (total primary energy supply, t o.e. / € 1000 GDP)) in turn by Y3 (-1) last year - that Y1 and Y2 do not include auto regressive components; This model is for purely autoregressive Y3: Y3 (final energy consumption (final energy consumption t o.e. / € 1000 GDP)) depends on its previous value Y3 (-1).

Initial data for forecasting final energy consumption are presented in Table 1.

Table 1

Initial data of final energy consumption

Year	Final energy consumption (FEC) ths. t o.e.	Primary energy intensity (total primary energy supply, t o.e. / € 1000 GDP)	Final energy consumption (final energy consumption t o.e. / € 1000 GDP)
	Y1	Y2	Y3
2006	72,948	1,518	0,822
2007	73,270	1,281	0,691
2008	73,846	1,091	0,616
2009	74,037	1,363	0,753
2010	74,238	1,429	0,796
2011	74,303	1,497	0,842
2012	74,067	1,524	0,879
2013	75,984	1,582	0,895
2014	63,266	1,620	0,921
2015	67,425	1,675	0,948

Results of approximation and forecast FCE for the next 5 years

1. The first indicator Y1 (final energy consumption) is given in Table 2.

Table 2

Prediction of final consumption of energy (FCE) thousand t.o.e. by using the group method of data handling

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Table	72,948	73,270	73,846	74,037	74,238	74,303	74,067	75,984	63,266
Model		71,247	71,721	71,518	71,312	71,104	70,892	70,677	70,458

Continuation of Table 2

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Table	67,425					
Model	70,237	69,335	69,632	69,398	69,160	68,919

2. The second indicator Y2 - Primary energy intensity (total primary energy supply, t.o.e. / € 1000 GDP) is given in Table 3.

Table 3

Prediction of primary energy intensity by using the group method of data handling

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Table	1,518	1,281	1,091	1,363	1,429	1,497	1,524	1,582	1,620
Model		1,48	1,50	1,51	1,53	1,55	1,56	1,58	1,60

Continuation of Table 3

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Table	1,675					
Model	1,62	1,651	1,670	1,709	1,689	1,729

3. The third indicator Y3 (final energy consumption (final energy consumption t.o.e. / € 1000 GDP) are shown in Table 4.

Table 4

Prediction of final energy intensity (final energy consumption t.o.e. / € 1000 GDP) by using the group method of data handling

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Table	0,822	0,691	0,616	0,753	0,796	0,842	0,879	0,895	0,921
Model		0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90	0,91	0,93

Continuation of Table 4

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Table	0,948					
Model	0,94	0,962	0,991	0,976	1,006	1,021

Predictive System Model of FEC forecast for next year depends on the values of the last and before last year, offset (-1) and (-2):

$$Y1 = 39,222 + 0,2496 * Y1(-1) + 0 * Y1(-2) - 29,210 * Y2(-1) + 178,642 * Y2(-2) + 0 * Y3(-1) - 354,418 * Y3(-2);$$

$$Y2 = 0,0000 + 0 * Y1(-1) + 0 * Y1(-2) + 1,0316 * Y2(-1) + 0 * Y2(-2) + 0 * Y3(-1) + 0 * Y3(-2);$$

$$Y3 = 0,0000 + 0 * Y1(-1) + 0 * Y1(-2) + 0,6410 * Y2(-1) - 0,0590 * Y2(-2) + 1,0149 * Y3(-1) + 0 * Y3(-2).$$

Comment: Y1 depends on Y1 (-1), Y2 (-1), Y2 (-2) and Y3 (-2); Model is purely autoregressive Y2: Y2 depends on its previous value Y2 (-1); Y3 depends on Y2 (-1), Y2 (-2) and Y3 (-1)

Forecasted balance of Electricity

$$Y1 = 0.3428 * Y1(-1) + 0.722 * Y2(-1) + 0.7087 * Y3(-1);$$

$$Y2 = 0.3942 * Y1(-1) + 0.5874 * Y2(-1);$$

$$Y3 = -11.4467 + 0.0847 * Y1(-1) + 0.6787 * Y3(-1).$$

Forecasting electricity consumption (gross) by using the group method of data handling are given in Table 5

Table 5

Prediction of electricity consumption (gross) by using the group method of data handling

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Table	177.9	183.7	193.7	198.8	204.7	209.5	216.9	226.9	231
Model		181.6	186.8	192.3	198.2	204.6	211.4	218.7	226.6

Continuation of Table 5

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Table						
Model	235.1	243.9	253.2	263.7	275	287.2

Prediction of electricity consumption (net) by using the group method of data handling are given in Table 6

Table 6

Prediction of electricity consumption (net) by using the group method of of data handling

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Table	158.6	162.6	167.4	172.8	175.6	181.5	184.2	189.4	198.5
Model		163.3	167.5	172.	176.9	182	187	193.5	199.9

Continuation of Table 6

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Table	208.5					
Model	206.7	213.5	221.6	230	239	248.8

Prediction of electricity export by the group method of data handling are given in Table 6

Table 7

Prediction of electricity export by the group method of data handling

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Table	8.56	9.35	10.47	10.86	11.35	13.65	15.33	17.37	19.23
Model		9.43	10.33	11.39	12.57	13.88	15.3	16.84	18.51

Continuation of Table 7

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Table	20					
Model	20.31	21.69	23.94	26.24	28.7	31.33

Prediction of energy consumption by using the group method of data handling:

$$Y1 = 88.6897 - 2.0492 * Y3(-1);$$

$$Y2 = 0.0823 * Y1(-1) - 3.4666 * Y2(-1) + 7.2614 * Y3(-1);$$

$$Y3 = 4.2195 - 2.2605 * Y2(-1) + 4.5343 * Y3(-1).$$

Conclusions. Through analysis of the dynamics of electricity consumption in Ukraine and analysis of such important indicators as the final energy consumption, primary energy consumption, the export of electricity consumption (net) electricity consumption (gross) final consumption of energy - were built predictive models in the energy sector through the use group method of data handling for the above indicators and made the following results:

- predicted the increase of final energy intensity from 8.22 t.n.e. / € 1000 of GDP in 2005 to 9,52 t.n.e. / € 1000 of GDP in 2020;

- predicted the increase of primary energy intensity from 15,18 t.n.e. / € 1000 of GDP in 2005 to 16.74 t.n.e. / € 1,000 of GDP in 2020;

- predicted the increase electricity exports from 8,56 in 2005 to 31,33 in 2020;

- predicted the growth of electricity consumption (net) from 158,6 in 2005 to 258,8 in 2020;

- predicted the growth of electricity consumption (gross) from 177,9 in 2005 to 287,2 in 2020;

- predicted the reduction of final consumption of electricity (FCE) from 72.95 thousand t o.e. in 2005 to 68,91 thousand t.o.e. in 2020.

Список використаних джерел

1. *Ивахненко А. Г.* Принятие решений на основе самоорганизации / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Зайченко, В. Д. Димитров. – М. : Советское радио, 1976. – 280 с.
2. *Кравець І. О.* Дослідження методів статистичного та інтелектуального аналізу для авто-регресійних моделей / І. О. Кравець, Г. О. Афанасьєва // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – Вип. 93. – С. 54–62.
3. *Економічна безпека регіону: єдність теорії, методології дослідження і практики* / А. И. Татаркин, А. А. Куклин, О. А. Романова та ін. – Єкатеринбург : Урал. 2007. – 240 с.
4. *Савенко Ю. Н.* Енергетичний баланс. Деякі питання теорії і практики / Ю. Н. Савенко, Е. О. Штейнгауз. – М. : Енергія, 2011. – 184с.
5. *Дмитриевский А. Н.* Электроэнергетика в XXI веке / А. Н. Дмитриевский // Энергетическое хозяйство. – 2002. – № 12. – С. 14–17.
6. *Котлер В. Р.* Потребление первичной энергии и структура топливотребления в мире / В. Р. Котлер // Электрические станции. – 2002. – № 7. – С. 71.

References

1. Ivahnenko, A.G., Zaichenko, Iu.P., Dimitrov, V.D. (1976). Priniatie reshenii na osnove samoorganizatsii [Making decisions based on self-organization and adoption]. Moscow: Soviet Radio.
2. Kravets, I.O., Afanasyeva, G.A. (2009). Doslidzhennia metodiv statystychnoho ta intelektualnoho analizu dlia avtorehresiiynykh modelei [Research methods of statistical and predictive analysis for autoregressive models]. *Naukovi pratsi : naukovo-metodychnyi zhurnal – Scientific Papers: Scientific-methodical journal*. Mykolaiv, vol. 93, pp. 54–62.
3. Tatarzyn, A.I., Kuklin, A.A., Romanov, A.A. et al. (2007). Ekonomichna bezpeka rehionu: yednist teorii, metodolohii doslidzhennia i praktyky [The economic security of the region: the unity of theory, research methodology and practice]. Ekaterinburg: Urals.
4. Savenko, Yu.N., Shteinhauz, E.O. (2011). Enerhetychnyi balans. Deiaki pytannia teorii i praktyky [Energy balance. Some questions of theory and practice]. Moscow: Enerhiia.
5. Dmytryevskyy, A.N. (2002). Electricity in the XXI century [Elektroenergetika v XXI veke]. *Energeticheskoe khoziaistvo – Electric energy*, no. 12, pp. 14–17.
6. Kotler, V.R. (2002). Potreblenie pervichnoi energii i struktura toplivopotrebleniia v mire [Consumption of primary energy and structure in the world energy consumption]. *Elektricheskie stantsii – Electric stations*, no. 7, pp. 71.

Степашко Володимир Семенович – доктор технічних наук, професор кафедри ММСА, НТУУ “КПІ” ім. І Сікорського (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Степашко Владимир Семенович – доктор технических наук, профессор кафедры ММСА, НТУУ “КПІ” им. И. Сикорского (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Stepashko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, professor of Department of MMSA, NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: vsstepashko@i.ua

Трачук Андрій Романович – аспірант кафедри АУЕК, ІЕЕ НТУУ «КПІ» ім. І.Сікорського (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Трачук Андрей Романович – аспирант кафедры АУЭК, ИЭЭ НТУ «КПИ» им. И. Сикорского (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Andrii Trachuk – PhD student of Department of Automation Management of Electrotechnical Complexes Institute of Energy Saving and Energy Management (IEE), NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: matrix@i.ua

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.3.011.74.005

Владислав Михайленко, Олег Петрученко, Руслан Рокицький, Юлія Язенюк

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДВАДЦЯТИЧОТИРИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Владислав Михайленко, Олег Петрученко, Руслан Рокицький, Юлія Язенюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ДВАДЦАТИЧЕТЫРЁХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Vladyslav Mihaylenko, Oleg Petruchenko, Ruslan Rokyttskyi, Julia Jazenok

RESEARCH ON THE ELECTRIC MAGNETIC PROCESSES IN SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH TWENTY FOURTH ZONED REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE

Проведено аналіз електромагнітних процесів у електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси в електричних колах. Проведено системний аналіз електромагнітних процесів у модуляційному напівпровідниковому перетворювачі з двадцятичотиризонним регулюванням вихідної напруги з активно-індуктивним навантаженням. Досліджено електромагнітні процеси у напівпровідниковому перетворювачі модуляційного типу. Ключові елементи були прийняті ідеальними.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм, напівпровідниковий перетворювач.

Рис.: 3. Бібл.: 3.

Проведен анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создана математическая модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Приведены графики, которые отражают электромагнитные процессы в электрических цепях. Проведен системный анализ электромагнитных процессов в модуляционном полупроводниковом преобразователе с двадцатичетырёхзонным регулированием выходного напряжения с активно-индуктивной нагрузкой. Исследованы электромагнитные процессы в полупроводниковом преобразователе модуляционного типа. Ключевые элементы были приняты идеальными.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, выходные напряжение и ток, полупроводниковый преобразователь.

Рис.: 3. Библ.: 3.

Analysis of the electromagnetic processes is organized beside this article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis electro-magnetic processes in semiconductor converter with width pulsed regulation of the output voltage. The brought graphs, which reflect the electromagnetic processes in electric circuit. The system analysis of the electromagnetic processes is organized in inflexion of the semiconductor converters with twenty fourth zoned regulations of the output voltage with actively-inductive load. Study of the electromagnetic processes is organized in work in semiconductor converter inflexion type. Key element were ideal.

Key words: electromagnetic processes, output voltage and current, semiconductor converter.

Fig.: 3. Bibl.: 3.

Вступ. Розвиток напівпровідникової техніки дозволяє використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою перемикання вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. У роботах [1–3] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У цій роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ як ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при двадцятичотиризонному керуванні.

Метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакета MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів у електричних колах з напівпровідниковими комутаторами з двадцятичотиризонним регулюванням вихідної напруги.

При широтно-імпульсному регулюванні вихідної напруги перетворювача силові ключі інверторів напруги за умов їхнього управління імпульсами напруги типу «меандр» беруть участь у двох процесах перетворення енергії, а саме – у споживанні енергії навантаженням (у провідному стані знаходяться відповідні пари транзисторів інвертора напруги) та розсіянні енергії в контурі навантаження (у провідному стані знаходяться відповідні пари, що складаються з транзисторів та діодів).

Структурна схема напівпровідникового перетворювача (НПП) показана на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМА, СМВ, СМС – силові модулятори (СМ) фазних напруг A , B і C відповідно; ВВ – високочастотний випрямляч; Н – навантаження. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, являє собою ланку високої частоти перетворювача.

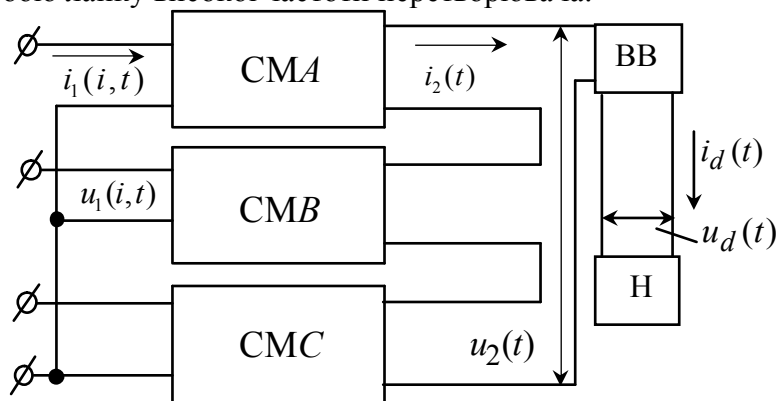


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином, кожен СМ має у своєму складі N інверторів випрямленої напруги (ІВН), де N – це кількість інверторів.

Під час складання математичної моделі перетворювача із комп'ютерною орієнтацією її застосування використовуємо метод багатопараметричних модулюючих функцій, який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому прийємо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, за якого у СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень попередньо випрямлених фазних напруг $u_1(i, t)$, частоти ω_1 , трифазної енергетичної мережі відповідними еквівалентними модулюючими впливами $\psi(p, N, t)$, частоти ω_2 . У результаті такої операції на навантаженні формується напруга $u_d(t)$

$$u_d(t) = \frac{1}{k_T} \sum_{p=1}^{24} \sum_{j=1}^3 u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(p, N, t) \nu(t), \quad (1)$$

де $i = 1, 2, 3$ – номери фаз енергетичної мережі; k_T – коефіцієнт трансформації трансформатора; $p = 1, 2, 3, \dots, N$ – номери зон регулювання; $\phi(i, t)$ – функції прямокутного

синуса, що збігаються за часом з положенням фазних напруг мережі; $u_1(i, t)$ – миттєві значення вхідної напруги мережі.

Функції прямокутного синуса подаються як

$$\phi(i, t) = \text{sign} \left\{ \sin \left(\omega_1 t - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) \right\}, \quad (2)$$

а миттєві значення вхідної напруги мережі представлені у вигляді

$$u_1(i, t) = U_{1m} \sin \left(\omega_1 t - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right), \quad (3)$$

де U_{1m} – амплітудне значення фазної напруги; $v(t)$ – функція прямокутного синуса, яка збігається за часом з положенням вихідної напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)). \quad (4)$$

Струм навантаження знайдемо, як реакцію одноконтурного RL -ланцюга на дію напруги (4). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру перетворювача, представимо у вигляді

$$D(t, y) = \frac{u_d(t)}{L} - \frac{R}{L} y_0, \quad (5)$$

де y_0 – визначається з початкових умов; R і L – відповідно активний опір й індуктивність навантаження.

Рішення (5) відносно струму навантаження визначимо числовим методом у вигляді матриці

$$i_d(t) = \text{rkfixed}(y, 0, k, s, D), \quad (6)$$

де y – вектор початкових умов; $0, k$ – часовий інтервал рішень; s – кількість точок на часовому інтервалі рішень; D – вектор функція диференційних рівнянь.

Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за виразом (7) для двадцятичотиризонного регулювання, представлені на рис. 2.

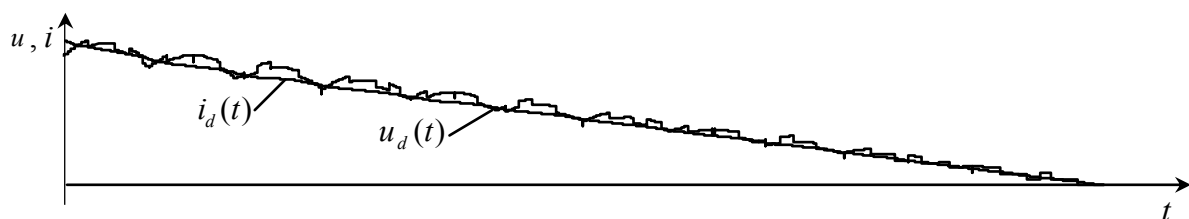


Рис. 2. Часові діаграми струму і напруги навантаження та вхідних струмів інверторів у координатах фазних напруг енергетичної мережі

Вхідний струм високочастотного випрямляча має вигляд

$$i_2(t) = i_d(t)v(t). \quad (7)$$

Для визначення вхідних струмів інверторів i -х фаз для кожної p -ї зони регулювання врахуємо, що $i_2(t)$ протікає в загальному контурі всіх СМ.

$$i_1(p, i, t) = \frac{i_2(t)\psi(p, N, t)\phi(i, t)}{k_T}. \quad (8)$$

Для визначення струмів i -х фаз енергетичної мережі у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги виконаємо додавання вхідних струмів інверторів всіх зон регулювання в кожній i -й фазі. Враховуючи рівняння (8) загальний вираз для струмів i -х фаз енергетичної мережі подамо у вигляді

$$i_1(i, t) = \sum_{i=1}^{24} i_1(p, i, t), \quad (9)$$

де $i_1(p, i, t)$ – вхідні струми інверторів i -х фаз для p -ї зони регулювання.

Часові діаграми вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (9) для двадцятичотиризонного регулювання, представлені на рис. 3.

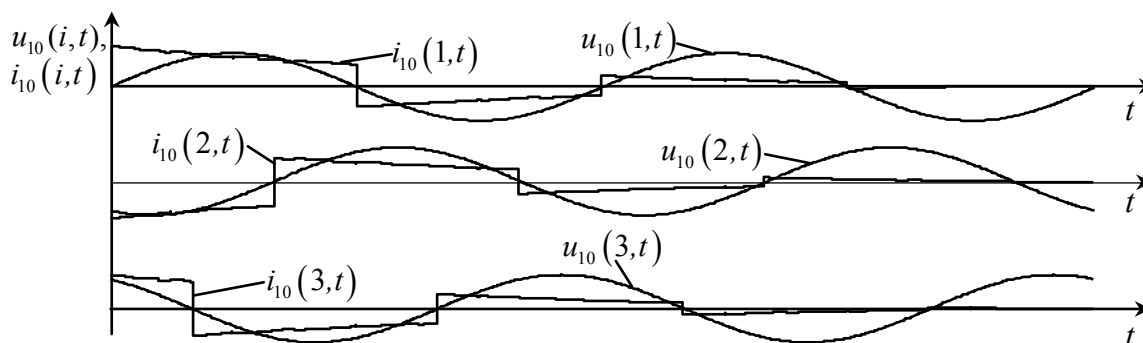


Рис. 3. Часові діаграми вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг

Дослідження показують ефективність використання багатопараметричних модулюючих функцій для моделювання і розрахунку електромагнітних процесів у розгалужених електричних колах напівпровідникових перетворювачів з багатозонним високочастотним широтноімпульсним регулюванням їхньої вихідної напруги при живленні RL-навантаження.

Крім указаних співвідношень і діаграм, розроблена модель дозволяє аналізувати форми вихідних напруг і струмів окремих силових модулів. Показано, що в електричних колах перетворювачів з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги доцільно використовувати інвертори для формування проміжної високочастотної напруги. Багатопараметричні функції треба визначати з дискретними параметрами, які в алгоритмічних рівняннях аналізу електромагнітних процесів у колах змінної структури з напівпровідниковими комутаторами відображають її змінення за підсистемними складовими. Це спрощує моделювання та аналіз електромагнітних процесів у колах за рахунок узагальнення системи рівнянь для множин цих складових і елементів при дії зовнішніх факторів.

Використання багатопараметричних модулюючих функцій у математичних моделях електромагнітних процесів у електричних колах з напівпровідниковими комутаторами дозволяє формалізовано визначати струми в колах інверторів та інших напівпровідникових ланок кожного із силових модулів випрямлених напруг. Також формалізовано можна визначати алгоритми управління комутаторами в колах силових модуляторів лінійних напруг трифазної мережі електроживлення, що спрощує підвищення якості знакопостійних напруг у процесі формування та багатозонного регулювання вихідних синусоїдних і знакопостійних напруг.

На другому етапі аналізу можна провести уточнення попередніх досліджень, беручи до уваги нові припущення, наприклад, відносно неідеальності внутрішніх опорів ключових елементів.

Подальші уточнення під час моделювання процесів можуть відноситись до урахування внутрішніх параметрів мережі живлення щодо їхніх еквівалентних опорів та індуктивностей, зміни внутрішніх параметрів навантаження та комплексного аналізу процесів щодо впливів можливих зовнішніх та внутрішніх факторів.

Висновки і пропозиції. Підтверджено доцільність використання програмного пакета MATCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

У подальшому можна провести моделювання у декілька етапів з різними початковими припущеннями, розглядаючи НПП як систему зі своєю структурною побудовою, що визначає внутрішні впливи, в середовищі надсистеми зі своїми системами, які ззовні впливають на НПП.

Розвинуто метод багатопараметричних модулюючих функцій у частині розробки нових математичних моделей і алгоритмічних рівнянь відносно функцій із системними дискретними параметрами напівпровідникових комутаторів, напруг і кутів управління, фаз мережі живлення і часу для аналізу електромагнітних процесів у електричних колах змінної структури з напівпровідниковими комутаторами та ланками із синусоїдними та постійними напругами.

Це спрощує системний аналіз усталених і перехідних процесів у розгалужених електричних колах напівпровідникових перетворювачів з високочастотним широтно-імпульсним регулюванням їх вихідних напруг.

Розроблено нову математичну модель усталених і перехідних процесів у електричних колах напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу з багатоканальним зонним використанням лінійних напруг трифазної мережі живлення без урахування втрат електроенергії у комутаторах на першому етапі моделювання для спрощення розрахунків і швидкого оцінювання впливу параметрів навантаження на характеристики регульованих вихідних синусоїдних і постійних напруг.

Такий підхід забезпечує швидке визначення алгоритмів управління комутаторами при підключенні напівпровідникових перетворювачів до лінійних напруг мережі живлення та підвищення якості знакопостійних напруг при багатозонному регулюванні вихідної напруги.

Список використаних джерел

1. Макаренко М. П. Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // *Електроніка и связь*. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
2. Патент 18750. України. МПК H02M 1/02. Інвертор напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко, В. В. Пілінський ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ”. – завл. 31.05.2006, опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
3. Патент 20985. України. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ”. – завл. 18.09.2006, опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

References

1. Makarenko, M.P., Mikhailenko, V.V. (2002). Matematichna model peretvoriuvacha trifazno napruhy v postiinu napruhu [Mathematical model of three-phase voltage transformer in a constant voltage]. *Elektronika i sviaz – Electronics and communications*, no. 14, pp. 73–75 (in Ukrainian).
2. Makarenko, M.P., Mykhailenko, V.V., Pilinskyi, V.V. (2006). *Invertor napruhy [Voltage inverter]*. Patent Ukraine 18750.
3. Makarenko, M.P., Mykhailenko, V.V. (2007). *Modulator vypriamlanoi napruhy [Modulator rectified voltage]*. Patent Ukraine 20985.

Михайленко Владислав Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Михайленко Владислав Володимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической электротехники, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Mihaylenko Vladyslav – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Pulpit Theoretical Electrical Engineers, National Technical University of the Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: VladislavMihailenko@i.ua

Петрученко Олег Васильович – старший викладач кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Петрученко Олег Васильевич – старший преподаватель кафедры теоретической электротехники, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Petruchenko Oleg – senior teacher of the pulpit theoretical electrical engineers, National Technical University of the Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: ovpetruchenko@gmail.com

Рокицький Руслан Олександрович – студент, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Рокицкий Руслан Александрович – студент, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” (проспект Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Rokytskiy Ruslan – student, National Technical University of the Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: ruslan.rokitskii@mail.ru

Язенок Юлія Сергіївна – студентка, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Язенок Юлия Сергеевна – студентка, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Jazenok Julia – student, National Technical University of the Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: julia.okss@gmail.com

Артем Фесенко, Роман Єршов, Сергій Степенко

ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Артём Фесенко, Роман Ершов, Сергей Степенко

ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Artem Fesenko, Roman Yershov, Serhii Stepenko

OVERVIEW AND REASONING OF STORAGE BATTERIES SELECTION FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM BASED ON PHOTOVOLTAIC CONVERTERS

Розглянуто проблему вибору типу акумуляторної батареї для використання у складі автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. Сучасний ринок насичений різноманітними типами та моделями акумуляторів, що робить остаточний вибір достатньо складним. Запропонована методика базується на порівнянні питомої ємнісної вартості, напруги однієї комірки, об'ємної ємності, строку експлуатації та екологічності розглянутих типів акумуляторів. Проаналізовано переваги та недоліки основних типів акумуляторів під час їх роботи у складі автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. З використанням запропонованої методики обрано оптимальний тип батарей для заданого застосування.

Ключові слова: акумуляторна батарея, свинцево-кислотні акумулятори, нікель-кадмієві акумулятори, літій-іонні акумулятори, питома ємнісна вартість, об'ємна ємність.

Табл.: 6. Рис.: 4. Бібл.: 17.

Рассмотрена проблема выбора типа аккумуляторной батареи для использования в составе автономной системы электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей. Современный рынок насыщен разнообразными типами и моделями аккумуляторов, что делает окончательный выбор достаточно сложным. Предложенная методика базируется на сравнении удельной емкостной стоимости, напряжения одной ячейки, объемной емкости, срока эксплуатации и экологичности рассмотренных типов аккумуляторов. Проанализированы преимущества и недостатки основных типов аккумуляторов при их работе в составе автономной системы электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей. С использованием предложенной методики избран оптимальный тип батарей для данного применения.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, свинцово-кислотные аккумуляторы, никель-кадмиевые аккумуляторы, литий-ионные аккумуляторы, удельная емкостная стоимость, объемная емкость.

Табл.: 6. Рис.: 4. Библ.: 17.

The problem of choosing the type of storage battery for use in the autonomous power supply system based on photovoltaic converters is proposed in given article. The modern market is saturated with different types and models of storage batteries that makes the choice quite difficult. The proposed method is based on a comparison of the specific capacitive cost, a cell voltage, volume capacity, term of operation and low emissions for considered types of storage batteries. The advantages and drawbacks for the main types of storage batteries, considering them as part of an autonomous power supply system based on photovoltaic converters, were analyzed. According to the proposed method the optimal type of batteries for the mentioned application was selected.

Keywords: storage battery, lead-acid batteries, nickel-cadmium batteries, lithium-ion batteries, specific capacitive cost, volume capacity.

Табл.: 6. Fig.: 4. Bibl.: 17.

Постановка проблеми. Із усвідомленням людством своєї відповідальності за погіршення стану навколишнього середовища зростає роль відновлюваних джерел енергії. Значне місце серед таких джерел посідає сонячна енергетика. Водночас нагальною стає необхідність збереження електричної енергії. Для її вирішення застосовуються акумулятори різноманітних типів. Широкий вибір існуючих на сьогодні акумуляторних батарей (АКБ) призводить до необхідності вибору конкретного їх типу для кожного специфічного рішення, з урахуванням їх переваг на недоліків.

На рис. 1 схематично зображено автономну систему електроживлення. Таку систему можна поділити на такі функціональні частини: сонячний модуль, контролер заряду акумуляторної батареї, акумуляторна батарея (АКБ), інвертор напруги та споживач.

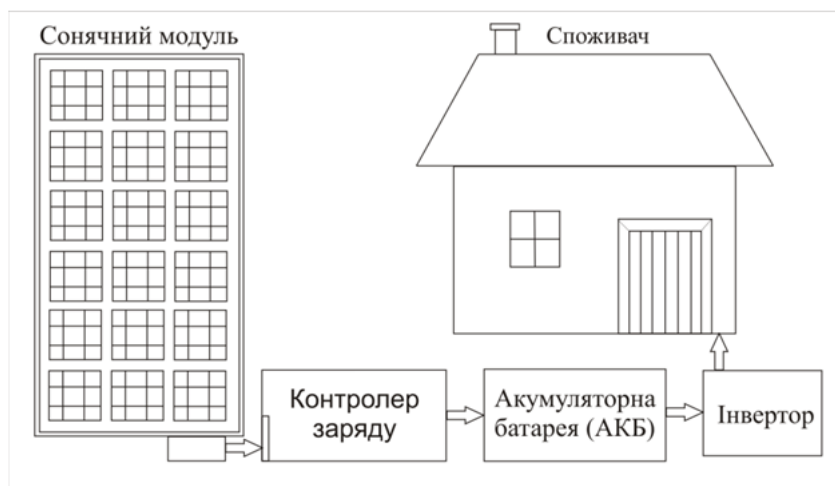


Рис. 1. Схема автономної системи електроживлення

Порівняння акумуляторів буде проводитись за такими критеріями: питомою ємністю, напругою однієї комірки, об'ємною ємністю, середнім строком експлуатації та екологічністю.

Свинцево-кислотні АКБ (Lead-Acid batteries).

Найбільш поширеним типом АКБ, що запропоновані виробниками для подібних систем, є свинцево-кислотні АКБ. Такі акумулятори можна поділити на ті, що потребують обслуговування (з рідким електролітом), та ті, що обслуговування не потребують (типи GEL та AGM). Принцип роботи цього типу акумуляторів засновано на електрохімічній реакції свинцю та діоксиду свинцю в розчині сірчаної кислоти.

Відповідно, свинцево-кислотні акумулятори типів GEL та AGM через відсутність рідкого електроліту між свинцевими пластинами є більш зручними в користуванні та надійними [7].

Перевагами цього типу АКБ є:

- Поширеність та доступність.
- Невисока вартість.
- Наявність великої кількості готових рішень.

Недоліками цього типу АКБ є:

- Наявність токсичних речовин.
- Чутливість до низьких температур.
- Порівняно невеликий ресурс у процесі використання в режимі глибоких розрядів-зарядів.

– Чутливість до повного розряду.

– Додаткові вимоги до перевезення та встановлення АКБ з рідким електролітом.

Тип AGM містить абсорбуючі склотканинні вставки між пластинами, які безпосередньо зв'язують електроліт. Перевагами цього типу акумуляторів є менша вартість порівняно з типом GEL, нижчі вимоги до якості напруги заряду, більш високі струми заряду/розряду.

У табл. 1 наведено параметри декількох свинцево-кислотних АКБ для кожного з типів.

Таблиця 1

Порівняння свинцево-кислотних АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
1	2	3	4	5	6
Challenger A12-200 [2]	12	202	12, 260	522x240x219, 60	11 478
SIAP PzS 4 APH 420 [3]	2	420	18, 1200	81x198x540, 25	3991

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
Ventura GPL 12-200(AGM) [4]	12	200	12, 260	522x238x238, 64	10 278
Leoch DJM 12120 (AGM) [5]	12	120	12, 260	177x225x225, 35	8159
Challenger OPzV2-500(GEL) [6]	2	490	18, 1200	166x206x513, 39,5	8324
Ventura VG12-200 (GEL) [7]	12	200	15, 350	526x238x246	11 728

* кількість циклів заряду-розряду в циклічному режимі роботи при повному розряді.

У запропонованих на ринку України готових рішеннях для автономної системи електроживлення потужність сонячних панелей співвідноситься з потужністю пропонованого інвертора в межах 1:2 – 1:3. Співвідношення потужності сонячних панелей та акумуляторних батарей коливається в межах від 1:4 до 1:5.

Цей тип акумуляторів не містить у своєму складі вбудованих контролерів. Отже, застосовують зовнішні контролери заряду, здебільшого розраховані на напругу 12/24/36/48В сонячної панелі, та широкий діапазон вихідних напруг. Найбільш поширеними є два типи контролерів заряду: ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) та МРРТ (Maximum Power Point Tracking, відстеження точки максимальної потужності). Зазвичай контролери з МРРТ більш складні та дорогі, ніж ШІМ, проте їх робота є більш ефективною. Так, з метою здешевлення цього типу контролерів запропоновано відмовитись від використання в їх складі мікропроцесорів, ПЛІС та аналогово-цифрових перетворювачів, замінивши їх функції аналоговими вузлами [16].

Останнім часом з поширенням мережевих та безпроводних технологій, зокрема, в роботі [13], такі рішення знаходять своє застосування й у сфері альтернативної енергетики. Так, пропонується система, що забезпечує моніторинг та збереження даних про стан свинцево-кислотних акумуляторів за допомогою веб-сервера. Також система забезпечує високу ефективність роботи АКБ завдяки алгоритму МРРТ.

У табл. 2 наведено параметри декількох контролерів заряду свинцево-кислотних АКБ.

Таблиця 2

Порівняння контролерів заряду свинцево-кислотних АКБ

Найменування	$U_{\text{вх max}},$ В	$I_{\text{н max}},$ А	$U_{\text{вих}},$ В	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	$P_{\text{н}},$ Вт	Вартість, грн
EPsolar EPRC10-EC(PWM)	12	10	24	140x89x26, 0,15	120	638
EPsolar LS2024R (PWM)	12	20	24	143x75x45, 0,25	240	1255
EPsolar MPPT TRACER- 2210RN	32	20	100	169x118x83, 0,95	640	5243
EPsolar MPPT TRACER- 4215RN	32	20	150	242x169x91, 2	640	10 983

З наведених даних видно, що контролери заряду з ШІМ є більш дешевими. Проте контролери заряду з МРРТ розраховані на роботу із сонячними батареями (СБ) більшої потужності та більш високим струмом. Також цей тип контролерів забезпечує вищий ККД за умови часткового затінення СБ, підвищує термін служби свинцево-кислотних АКБ [15]. Детальніше ефективність роботи контролера заряду з МРРТ за різних погодних умов (температура, освітленість сонячної панелі) розглянуто в [8].

Недоліком використання у складі автономних сонячних електростанцій свинцево-кислотних АКБ є їхня токсичність (через застосування в конструкції кислот та важких металів). Це призводить до виникнення ускладнень у процесі їх утилізації та вносить

певні ризики у процес експлуатації (через можливі механічні пошкодження під час роботи). Додаткову небезпеку в цьому типі батарей становить наростання тиску всередині корпусу, що може призвести до порушення його цілісності. Тому більшість сучасних моделей обладнані спеціальними клапанами для скидання надлишкового тиску. Всі розглянуті в цій статті батареї оснащені подібними клапанами.

Проте, як показав аналіз рішень, наявних на ринку України та провідних європейських країн, саме цей тип акумуляторів домінує в побутовому сегменті готових систем. Така ситуація спричинена поширеністю, доступністю, відносно невисокою вартістю свинцево-кислотних акумуляторів при достатньо довгому терміні експлуатації. Також застосування свинцево-кислотних акумуляторів виправдане з метою здешевлення побутових систем малої потужності, де не є критичними масогабаритні параметри.

Нікель-кадмієві АКБ (NiCd batteries).

Нікель-кадмієві АКБ історично є однолітками свинцево-кислотних. Однак початок їх використання відбувся із запізненням через труднощі з виробництвом та подолання технологічних недоліків. В основі роботи цього типу акумуляторів лежить електрохімічна реакція гідроксиду нікелю, кадмію та води.

До переваг нікель-кадмієвих АКБ можна віднести:

- Можливість проведення відносно швидкого та простого заряджання АКБ після тривалого зберігання.

- Кількість циклів повного заряду-розряду більше 1000.

- Можливість роботи у широкому температурному діапазоні: від -50 до $+60$ °C.

- Нормальна робота після повного розряду.

- Відсутність спеціальних вимог до перевезення та зберігання.

- Можливість зберігання в розрядженому стані.

До недоліків таких АКБ належать:

- Ефект пам'яті та заходи по боротьбі з ним.

- Відносно значний саморозряд під час довгого зберігання.

- Токсичність застосованих матеріалів та спеціальна утилізація.

Номінальна напруга елемента становить 1,2 В. Через це потрібно з'єднувати певну кількість елементів для отримання бажаної напруги, що у свою чергу підвищує вартість системи. Знайти приклади застосування цих акумуляторів у складі автономних сонячних електростанцій не вдалося, проте вони застосовуються разом із сонячними панелями у складі деяких аерокосмічних систем.

Приклади деяких наявних на ринку зразків цього типу АКБ та їх параметрів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняння нікель-кадмієвих АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
EverExeed EBN100 [12]	1,2	100	20 2050	106x164x345, 6,9	270–4320
EverExeed EBL100 [13]	1,2	100	20 2050	80x141x365, 13,7	270–19 000
Changhong DMH120 [14]	1,2	120	15 1200	93x123x309, 5,65	-

* кількість циклів заряду-розряду при 80%-му розряді.

Як контролер заряду для таких батарей було запропоновано алгоритм з використанням нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [12]. Так, автори доводять на основі моделювання підвищення ККД системи та подовження терміну роботи АКБ до 3000 циклів заряду-розряду.

Нікель-метал-гідридні АКБ (NiMh battery).

Нікель-метал-гідридні акумулятори загалом подібні до нікель-кадмієвих, проте мають багато відмінностей. Катод таких батарей виконано з гідриду металу. Розроблені як заміна нікель-кадмієвих акумуляторів.

Переваги:

- Відсутність ефекту запам'ятовування.
- Екологічно безпечні.
- Дещо вища ємність у таких самих габаритних розмірах, що і в нікель-кадмієвих АКБ.

Недоліки:

- Значно більший саморозряд, ніж у нікель-кадмієвих АКБ.
- Ресурс на рівні 300 циклів заряду-розряду (до 1500 для акумуляторів з низьким саморозрядом).

Зразки цього типу акумуляторів, які застосовувалися б у системах альтернативної енергетики, не відомі. Також у вільному доступі відсутній детальний опис промислового зразка цього типу акумулятора з описом його характеристик, як це було зроблено для інших типів АКБ. Через це більш глибоке порівняння цього типу пристроїв з аналогами в межах поточного огляду не здійснювалося.

Літій-іонні АКБ (Li-ion batteries).

Перший літій-іонний акумулятор було випущено компанією Sony в 1991 році.

Через підвищення зарядної напруги такі акумулятори можуть займатися, тому їх часто обладнують вбудованими контролерами заряду. В більш складних моделях такі контролери можуть відслідковувати температуру акумулятора, запобігаючи перегріванню, обмежувати струм та глибину заряду. У разі порушення режимів заряду або розряду АКБ може спалахнути чи навіть вибухнути. Гасіння такого типу пожежі є дуже складним, оскільки типові методи (вода, вуглекислотний вогнегасник) реагують з компонентами акумулятора. Тому найоптимальнішим способом подолання такого типу пожежі – блокувати доступ повітря до полум'я. Для цього типу АКБ було запропоновано контролер заряду з використанням нечіткої логіки [11]. Як свідчить моделювання та експериментальні дані, ефективність роботи такої системи підвищується, а час, необхідний на процес заряджання акумулятора, зменшується на 23 %.

У 2015 році компанія Tesla презентувала свої АКБ для побутового використання у складі систем альтернативної енергетики Tesla powerwall [17].

У табл. 4 наведено параметри деяких існуючих літій-іонних акумуляторів. Виробник Changhong оснащує свої акумулятори системою керування батареєю (BMS (battery management system)), що забезпечує захист від надмірного заряду, перевантаження за струмом, збір інформації, контроль температури та інше.

Таблиця 4

Порівняння літій-іонних АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
Changhong 4-2IFP11200328	12,8	100	10+ 1500+	425x425x90, 15	-
Changhong 15IFP09155225-7	48	140	10+ 1500+	830x395x315, 100	-
Sony Module IJ1001M	51,2	42	10+ 1500+	215x160x522, 27	38 956
Winston WB-LYP60АНА	4	100	3000+	214x179x106, 3,5	4300
LG CHEM RESU 3.3	48	63	2000+	452x402x120, 31	73 189

* кількість циклів заряду-розряду при 80%-му розряді.

Літій-залізо-фосфатні АКБ (LiFePO₄ batteries).

Головна відмінність літій-залізо-фосфатних АКБ від літій-іонних АКБ полягає в тому, що матеріалом, з якого виготовлено катод, є літій-залізо-фосфат. В основі роботи лежить електрохімічна реакція літій-залізо-фосфату з карбоном. У табл. 5 наведені параметри декількох таких акумуляторів.

Таблиця 5

Порівняння літій-залізо-фосфатних АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
EverExceed EV48100-T	48	100	15+ 3000+	451x221x65, 15	136 240
BLV-12V-105AH	12	105	-	340x270x65, -	2953
Victron energy 24V/100Ah	24	100	-	592x154x278, 2,6	142 325
Victron energy 24V/60Ah	24	60	-	214x179x106, 3,5	32 263

* кількість циклів заряду-розряду при 80%-му розряді.

Переваги:

- Незначний саморозряд.
- Не потребують регламентного обслуговування.
- Екологічно безпечні.
- Наявність готових модулів із вбудованими контролерами заряду та BMS.

До недоліків цього типу акумуляторів можна віднести:

- Високу вартість.
- Ефект запам'ятовування.
- Зменшення ємності при порушенні температурних умов заряду-розряду.

Параметри для порівняння АКБ.

Першим параметром для порівняння різних типів АКБ введемо відношення вартості однієї ампер-години – питому ємнісну вартість A . Значення цього параметра розрахуємо за формулою (1):

$$A = \frac{V}{C}, \quad (1)$$

де V – вартість, грн; C – електрична ємність, А·год. Результати розрахунків цього параметра наведено в табл. 6. Як видно з наведених значень, найбільша вартість однієї ампер-години у деяких моделей літій-іонних та літій-залізо-фосфатних акумуляторів. Проте ці моделі мають певні додаткові особливості (система BMS, можливість з'єднання в єдину збірку, наявність інтерфейсів RS-232/CAN, контролер заряду та ін.). Найменш дорогими з розглянутих акумуляторів є свинцево-кислотні. Це є наслідком широкої номенклатури, поширеністю та відносно нижчою технологічною складністю виготовлення.

Таблиця 6

Розраховані значення показників A та B

№	Акумулятор	Тип	A, грн / А·год	B, (А·год) / см ³	V, см ³
1	2	3	4	5	6
1	Challenger A12-200	AGM	57,39	7,29	27436,32
2	Ventura GPL 12-200	AGM	51,39	6,76	29568,17
3	Leoch DJM 12120	AGM	67,99	20,26	5923,13
4	SIAP PzS 4 APH 420	VRLA	9,50	48,49	8660,52
5	Challenger OPzV2-500	GEL	16,98	28,5	17542,55
6	Ventura VG12-200	GEL	58,64	6,49	30796,25
7	Challenger OPzV2-500	GEL	16,98	28,5	17542,55

Закінчення табл. 6

1	2	3	4	5	6
8	EverExceed EBH100	NiCd	21,6	16,7	5997,48
9	EverExceed EBL100	NiCd	80	24,29	4117,2
10	Sony Module IJ1001M	Li-ion	927,52	5,6	17956,8
11	Winston WB-LYP60AHA	Li-ion	43	24,6	4060,2
12	LG CHEM RESU 3.3	Li-ion	1161,73	3,1	20502
13	EverExceed EV48100-T	LiFePO4	1362,4	15,43	6478,62
14	BLV-12V-105AH	LiFePO4	28,12	17,57	5976
15	Victron energy 24V/100Ah	LiFePO4	1423,5	3,94	25334,7
16	Victron energy 24V/60Ah	LiFePO4	537,72	14,77	4060,37

Другим параметром для порівняння розглянутих типів акумуляторів проаналізуємо номінальну напругу однієї комірки. Порівняльна діаграма наведена на рис. 2.

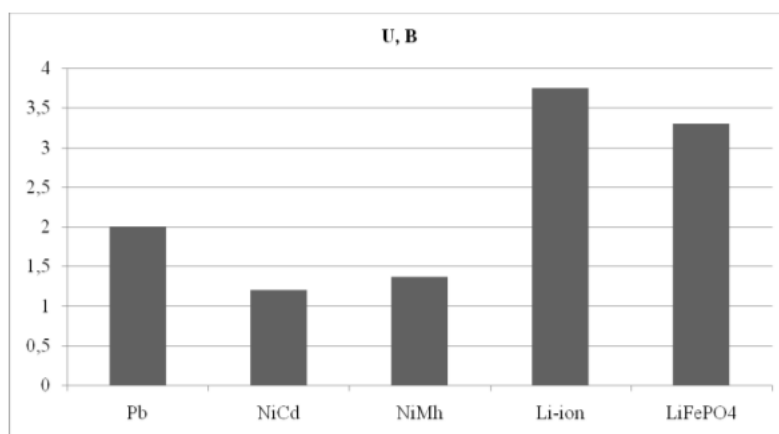


Рис. 2. Номінальні напруги однієї комірки

Як видно з рис. 2, найбільшу напругу однієї комірки мають літій-іонні та літій-залізо-фосфатні акумулятори. Це дозволяє обійтись меншою кількістю комірок для одержання тієї ж вихідної напруги елемента або підвищити її.

Як додатковий параметр для порівняння АКБ різних типів розглянемо об’ємну ємність В – відношення ємності АКБ до її об’єму. Результати розрахунків даних параметрів також наведені в табл. 6. Як видно з наведених даних, найвищі значення мають свинцево-кислотні акумулятори. Нижчі показники пояснюються тим, що літій-іонні акумулятори мають у своєму складі контролери заряду, систему захисту батареї та інші модулі, крім власне акумулятора.

За даними табл. 6 було побудовано діаграми, що ілюструють співвідношення ємнісної вартості та об’ємної ємності для різних типів АКБ (рис. 3 та рис. 4).

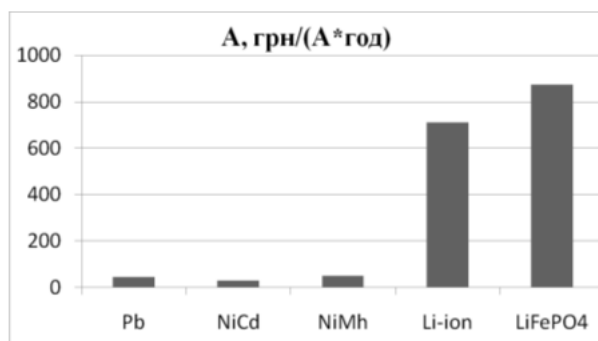


Рис. 3. Ємнісна вартість АКБ різних типів

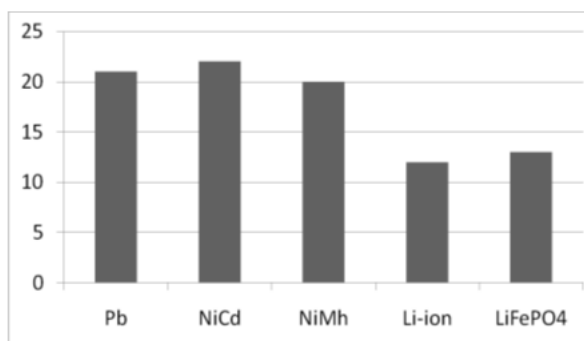


Рис. 4. Об’ємна ємність АКБ різних типів

Загалом, останній показник не є критичним під час вибору акумулятора, оскільки маса та габарити для стаціонарних систем не є настільки значущими, як для бортових систем.

Також важливим критерієм під час вибору АКБ є її ресурс. Як видно з наведених вище даних, всі типи батарей забезпечують досить довгий термін експлуатації в буферному режимі. Стійкість акумуляторів до роботи в режимі розряд-заряд різниться. Так, свинцево-кислотні АКБ більш чутливі до глибоких розрядів та менш стійкі до роботи в режимі розряд-заряд при глибині розряду більше 20 %. Інші з розглянутих типів акумуляторів більш стійкі до такого режиму роботи. Проте у складі автономної системи електроживлення з фотоелектричними перетворювачами АКБ працюватимуть у буферному режимі. Отже, найбільш важливим буде термін експлуатації АКБ.

З-поміж усіх розглянутих моделей найбільший термін використання мають нікель-кадмієві АКБ. Строк експлуатації літєвих батарей сягає 10–15 років, тоді як свинцево-кислотні акумулятори мають цей показник на рівні 12 років. Як видно з наведених показників, свинцево-кислотні акумулятори не надто відстають від більш сучасних та екологічних типів АКБ. А використання типів AGM та GEL дозволяє позбавитись від суттєвих труднощів в експлуатації, що були характерні для моделей з рідким електролітом.

Висновки та пропозиції. Проаналізувавши наведені вище фактори, можна дійти висновку, що через найменшу питому ємнісну вартість, задовільну напругу однієї комірки, середній термін експлуатації, порівняно з іншими типами АКБ, високу об'ємну ємність, оптимальним варіантом для заданого застосування є свинцево-кислотні АКБ. Додатковою перевагою цього типу акумуляторів є їх широка доступність та значний асортимент різноманітних моделей. Такі ж недоліки, як низька екологічність та необхідність регламентного обслуговування, або подолані в сучасних моделях, або є не суттєвими, враховуючи інші переваги. Перспективним також бачиться застосування у складі автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів літєвих АКБ, проте їх широке застосування стримується високою вартістю. Саме через це свинцево-кислотні АКБ є найбільш поширеним типом акумуляторів в наявних на світовому ринку готових рішень для автономних сонячних електростанцій побутового рівня.

Поточні дослідження виконуються в межах держбюджетної науково-дослідної роботи № ДР 0116U006960.

Список використаних джерел

1. Акумуляторная батарея Challenger A12-200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-challenger-a12-200>.
2. Акумуляторная батарея Challenger OPzV2-500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://avante.com.ua/catalog/akkumuljatornaja_batareja_challenger_opzv2-_500_2v_500_a_ch-05679.
3. Акумуляторная батарея Leoch DJM 12120 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.leoton.ua/leoch-battery-djm12120.php>.
4. Акумуляторная батарея SIAP PzS 4 APH 420 (2B-420A) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://alteco.in.ua/products/akkumulyatory/akkumulyatory-tyagovyye/siap-pzs-4-aph-420-detail>.
5. Акумуляторная батарея VENTURA GPL 12-200 (12V 200Ah) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ipt-ups.com.ua/ventura-gpl-200-12-12v-200ah>.
6. Акумуляторная батарея Ventura VG12-200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://avtonom.com.ua/batarei-akkumulyatornye/akkumulyatory-dlya-ibp/akkumulyator-dlya-ibp-ventura-vg-12-200-vrla-gel->
7. Хрусталеv Д. А. Акумуляторы / Д. А. Хрусталеv. – М. : Изумруд, 2003. – 244 с.
8. Alami M. E. The modeling of maximum power point tracking controller for increasing efficiency of solar power system / M. E. Alami, M. Habibi and S. Bri // 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (10-13 Dec. 2015., Marrakech), 2015, pp. 1–6.
9. Changhong Nickel Cadmium Battery for Rolling Stock (Ni-CD Battery) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://changhong-battery.en.made-in-china.com/product/aSrJYkIGsWN/China-Changhong-Nickel-Cadmium-Battery-for-Rolling-Stock-Ni-CD-Battery-.html>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. *Everexceed Maintenance Free NiCd Battery* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ru.made-in-china.com/co_hhyzhyan1314/product_Everexceed-Maintenance-Free-NiCd-Battery-Ebh-Series-1-2V-100ah_ereeooreg.html.

11. *Guan-Chyun Hsieh*. Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-charge controller / Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen and Kuo-Shun Huang // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2001. – № 48. – Pp. 585–593.

12. *Ionescu P. D.* Intelligent charger with fuzzy logic / P. D. Ionescu, M. Moscalu and A. Moscalu // *Signals, Circuits and Systems*, 2003. SCS 2003. International Symposium. – 2003. – № 1. – Pp. 101–104.

13. *Melvix J. S. M. L.* Development of intelligent battery monitoring system for solar powered lighting applications / J. S. M. L. Melvix, K. Sundararamabalasubramanian and M. G. Madhan // 2014 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (18-20 Dec. 2014., Coimbatore), 2014, pp. 1–5.

14. *Pocket Plate Range EBL Series long life EBL 100 Nickel cadmium rechargeable 1.2V nicd battery* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://everexceedcorp.en.alibaba.com/product/60204037944-801256541/EverExceed_Pocket_Plate_Range_EBL_Series_long_life_Nicd_100AH_battery.html.

15. *Subashini M.* A novel design of charge controller for a standalone solar photovoltaic system / M. Subashini and M. Ramaswamy // 3rd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES) (17-19 Mar. 2016, Chennai), 2016, pp. 237–243.

16. *Sugimoto Y.* The Solar Cells and the Battery Charger System Using the Fast and Precise Analog Maximum Power Point Tracking Circuits / Y. Sugimoto // IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (08-10 Jul. 2015, Montpellier), 2015, pp. 597–602.

17. *Tesla Powerwall: The Complete Review* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://news.energysage.com/tesla-powerwall-complete-review/>.

References

1. *Akkumulatornaia batareia Challenger A12-200* [Storage battery Challenger A12-200]. Retrieved from <http://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-challenger-a12-200>.

2. *Akkumulatornaia batareia Challenger OPzV2- 500* [Storage battery Challenger OPzV2- 500]. Retrieved from http://avante.com.ua/catalog/akkumuljatornaja_batareja_challenger_opzv2-500_2v_500_a_ch-05679.

3. *Akkumulatornaia batareia Leoch DJM 12120* [Storage battery Leoch DJM 12120]. Retrieved from <http://www.leoton.ua/leoch-battery-djm12120.php>.

4. *Akkumulatornaia batareia SIAP PzS 4 APH 420 2V-420A* [Storage battery SIAP PzS 4 APH 420 2V-420A]. Retrieved from <http://alteco.in.ua/products/akkumulyatory/akkumulyatory-tyagovyvye/siap-pzs-4-aph-420-detail>.

5. *Akkumulatornaia batareia VENTURA GPL 12-200 12V 200Ah* [Storage battery VENTURA GPL 12-200 12V 200Ah]. Retrieved from <http://ipt-ups.com.ua/ventura-gpl-200-12-12v-200ah>.

6. *Akkumulatornaia batareia Ventura VG12-200* [Storage battery Ventura VG12-200]. Retrieved from <http://avtonom.com.ua/batarei-akkumulyatornye/akkumulyatory-dlya-ibp/akkumulyator-dlya-ibp-ventura-vg-12-200-vrla-gel->

7. Khrustalev, D.A. (2003). *Akkumulyatory* [Storage batteries]. Moscow: Izumrud (in Russia).

8. Alami, M.E., Habibi, M. and Bri, S. (2015). The modeling of maximum power point tracking controller for increasing efficiency of solar power system. Proceedings from 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (Marrakech, December 10-13, 2015). Marrakech: pp. 1–6 (in Morocco).

9. *Changhong Nickel Cadmium Battery for Rolling Stock (Ni-CD Battery)*. Retrieved from <http://changhong-battery.en.made-in-china.com/product/aSrJYkIGgsWN/China-Changhong-Nickel-Cadmium-Battery-for-Rolling-Stock-Ni-CD-Battery-.html>.

10. *Everexceed Maintenance Free NiCd Battery*. Retrieved from http://ru.made-in-china.com/co_hhyzhyan1314/product_Everexceed-Maintenance-Free-NiCd-Battery-Ebh-Series-1-2V-100ah_ereeooreg.html.

11. Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen and Kuo-Shun Huang (2001). Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-charge controller. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, pp. 585–593.

12. Ionescu, P.D., Moscalu, M. and Moscalu, A. (2003). Intelligent charger with fuzzy logic. *Signals, Circuits and Systems, 2003. SCS 2003. International Symposium*, vol. 1, pp. 101–104.
13. Melvix, J.S.M.L., Sundararamabalasubramanian, K. and Madhan, M.G. (2014). Development of intelligent battery monitoring system for solar powered lighting applications. Proceedings from *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research* (Coimbatore, December 18-20, 2014). Coimbatore: pp. 1–5 (in India).
14. *Pocket Plate Range EBL Series long life EBL 100 Nickel cadmium rechargeable 1.2V nicd battery*. Retrieved from http://everexceedcorp.en.alibaba.com/product/60204037944-801256541/EverExceed_Pocket_Plate_Range_EBL_Series_long_life_Nicd_100AH_battery.html.
15. Subashini, M. and Ramaswamy, M. (2016). A novel design of charge controller for a standalone solar photovoltaic system. Proceedings from *3rd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*. (Chennai, March 17-19, 2016). Chennai: pp. 237–243 (in India).
16. Sugimoto, Y. (2015). The Solar Cells and the Battery Charger System Using the Fast and Precise Analog Maximum Power Point Tracking Circuits. Proceedings from *IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI* (Montpellier, July 08-10, 2015) Montpellier: pp. 597–602 (in France).
17. *Tesla Powerwall: The Complete Review*. *News energys age*. <http://news.energysage.com> Retrieved from <http://news.energysage.com/tesla-powerwall-complete-review>.

Фесенко Артем Петрович – магістр електроніки, фахівець третьої категорії держбюджетної теми №86/16, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Фесенко Артём Петрович – магистр электроники, специалист третьей категории госбюджетной темы №86/16, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Fesenko Artem – MSc in Electronics, third category specialist of state budget theme №86/16, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gudrunas.ch@gmail.com

Єршов Роман Дмитрович – асистент, молодший науковий співробітник, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ершов Роман Дмитриевич – ассистент, младший научный сотрудник, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Yershov Roman – assistant, junior researcher, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: roman.d.yershov@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0267-2906>

ResearcherID: H-1432-2016

Scopus Author ID: 57188719994

Степенко Сергій Анатольович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Степенко Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Stepenko Serhii – PhD in Electrical Engineering, senior researcher, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: serhii.stepenko.ua@ieee.org

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7702-6776>

ResearcherID: F-1018-2014

Scopus Author ID: 55570068000

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 539.3(075.8)

Ярослав Соколовський, Володимир Криштапович, Ігор Крошній

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ АНІЗОТРОПІЇ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА В'ЯЗКОПЛАСТИЧНИЙ СТАН ДЕРЕВИНИ

Ярослав Соколовский, Владимир Криштапович, Игорь Крошный

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

Yaroslav Sokolovskyy, Volodymyr Kryshchapovych, Igor Kroshnyy

REGULARITIES OF THE INFLUENCE OF ANISOTROPY OF MECHANICAL CHARACTERISTICS ON THE VISCOELASTIC STATE OF THE WOOD

Синтезовано математичну модель пружнов'язкопластичного деформування деревини в умовах неізотермічного вологоперенесення з урахуванням анізотропії механічних характеристик матеріалу та деформацій, зумовлених механіко-сорбційною повзучістю. Для реалізації моделей побудовано алгоритм методу скінченних елементів. Він дозволяє досліджувати вплив нестационарних полів тепло-масо-перенесення на розвиток пружних, в'язкопружних і пластичних деформацій у деревині з урахуванням механізму їх переродження. У результаті обчислювальних експериментів, проведених з використанням розроблених об'єктно-орієнтованих програмних засобів, встановлено закономірності впливу анізотропії теплофізичних та механічних характеристик деревини, її початкової вологості, геометричних параметрів на зміну пружнов'язкопластичного стану матеріалу в умовах неізотермічного вологоперенесення.

Ключові слова: математична модель, метод скінченних елементів, вологоперенесення, анізотропія властивостей, пружнов'язкопластичний стан, об'єктно-орієнтоване програмування, деревина.

Рис.: 6. Бібл.: 22.

Синтезировано математическую модель упруговязкопластического деформирования древесины в условиях неизо термического влагопереноса с учетом анизотропии механических характеристик материала и деформаций, обусловленных механико-сорбционной ползучестью. Для реализации моделей разработан алгоритм метода конечных элементов. Он позволяет исследовать влияние нестационарных полей тепло-массо-переноса на развитие упругих, вязкоупругих и пластических деформаций в древесине с учетом механизма их перерождения. В результате вычислительных экспериментов, проведенных с использованием разработанных объектно-ориентированных программных средств, установлены закономерности влияния анизотропии теплофизических и механических характеристик древесины, ее начальной влажности, геометрических параметров на изменение упруго-вязкопластического состояния материала в условиях неизо термического влагопереноса.

Ключевые слова: математическая модель, метод конечных элементов, влагоперенос, анизотропия свойств, упруговязкопластическое состояние, объектно-ориентированное программирование, древесина.

Рис.: 6. Библ.: 22.

The mathematical model of elastic-visco-plastic deformation of wood is synthesized in the conditions of non-isothermal moisture transfer taking into account the anisotropy of mechanical properties of material and deformations caused by a mechanic-sorption creep. The algorithm of the finite element method is constructed for the realization of models. It allows to investigate the influence of non-stationary fields of heat and mass transfer on the development of elastic, viscoelastic and plastic deformations in wood with consideration of the mechanism of their regeneration. As a result of computational experiments carried out using the developed object-oriented software tools established patterns of influence of anisotropy of thermo-physical and mechanical properties of wood, its initial moisture, geometrical parameters to change of visco-elastic-plastic state of material in the conditions of non-isothermal moisture transfer.

Key words: mathematical model, finite element method, moisture transfer, the anisotropy of properties, elastic-visco-plastic state, object-oriented programming, wood.

Fig.: 6. Bibl.: 22.

Постановка проблеми. Створення нових та вдосконалення існуючих енерго- та ресурсозберігаючих технологій процесу зневоднення капілярно-пористих матеріалів, зокрема деревини, визначаються процесами тепломасо-перенесення та деформування. Матеріал деревини характеризується високою гідрофобністю, значною мінливістю фізико-механічних властивостей у напрямках анізотропії, складною природою просторових кореляцій, наявністю ефектів «пам'яті», що зумовлюються залишковими напруженнями. Розвиток напружень в умовах неізотермічного вологоперенесення та наявність залишкового напружено-деформованого стану є одними з основних стримувальних факторів інтенсифікації процесу сушіння. Велику роль у вирішенні цього завдання відіграє

вдосконалення існуючих та побудова нових математичних моделей неізотермічного вологоперенесення та в'язкопружного деформування капілярно-пористих матеріалів, що враховують складний комплекс взаємопов'язаних процесів та увесь спектр властивостей матеріалу. У цьому аспекті важливим завданням є дослідження закономірностей впливу анізотропії пружних та в'язкопружних характеристик деревини на її пружнов'язкопластичний стан залежно від зміни тепломасообмінних властивостей матеріалу, а також прогнозування змін цих характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Деревина є анізотропним матеріалом, тому пружні та в'язкопружні властивості змінюються по-різному, залежно від структурного напрямку. Особливості анізотропії пружних властивостей наведені у працях [15; 17]. Важливими є дослідження впливу температурно-вологісних полів деревини різних порід на пружні характеристики у напрямках анізотропії, проведені на основі використання акустичних методів [21]. У працях [1; 15; 17] наведена методика реологічних досліджень деревини як в'язкопружного тіла з урахуванням механізму переродження деформацій. За результатами експериментальних досліджень показано, що жодна з найпростіших реологічних моделей не підходить для коректного опису розвитку загальних деформацій. Однак враховуючи умови лінійності пропонується використовувати різні комбінації реологічних моделей [15]. Дослідженню реологічної поведінки навантаженої деревини в умовах циклічної зміни вологості присвячені роботи [17; 19], у яких відображено особливий механізм механіко-сорбційної повзучості, зумовлений швидкістю зміни вологості. У дослідженнях [2] наведені моделі гіротермомеханічних деформацій визначення реологічної поведінки деревини для різних передісторій деформування, включаючи дію навантаження, температури і вологості. Проведений аналіз математичних моделей деформаційно-релаксаційних процесів та методів їх розрахунку під час сушіння капілярно-пористих матеріалів, зокрема деревини, показав, що переважно досліджена пружна та в'язкопружна область деформування в одновимірному та двовимірному випадках для сталих механічних характеристик [10; 6]. Побудова математичних моделей деформування деревини під час сушіння з урахуванням пружних, в'язкопружних, пластичних деформацій та особливостей їх переродження у широкому діапазоні зміни фізико-механічних властивостей деревини є складною проблемою [9; 11; 12; 22]. Врахування складних процесів деформування та масоперенесення у гіроскопічних капілярно-пористих матеріалах істотно ускладнює математичні моделі і вимагає удосконалення чисельних методів для їх реалізації та розроблення програмного забезпечення, яке має будуватися на об'єктно-орієнтованому аналізі й проектуванні програмних систем [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження пружнов'язкопластичного стану капілярно-пористих матеріалів, зокрема деревини, в умовах неізотермічного волого перенесення з урахуванням анізотропії змінних тепломеханічних характеристик матеріалу та механізму сорбційної повзучості, що дає змогу встановити закономірності впливу параметрів тепломасоперенесення на розвиток нормальних і тангентальних напружень у деревині з урахуванням швидкості зміни вологості матеріалу.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є синтез математичної моделі пружнов'язкопластичного деформування деревини в умовах неізотермічного вологоперенесення, розроблення прикладного програмного забезпечення для її реалізації та здійснення обчислювальних експериментів для встановлення закономірностей впливу анізотропії теплофізичних та механічних характеристик деревини, її початкової вологості, геометричних параметрів на зміну пружнов'язкопластичного стану матеріалу.

Виклад основного матеріалу. Синтез математичної моделі. На підставі основних законів термодинаміки незворотних процесів, механіки спадкових середовищ, усадки гіроскопічних матеріалів сформовано математичну модель двовимірного в'язкопружного

деформування капілярно-пористих матеріалів в умовах неізотермічного волого перенесення з урахуванням анізотропії тепломеханічних характеристик матеріалу, пластичних деформацій та деформацій, зумовлених механізмом механіко-сорбційної повзучості.

Систему модельних рівнянь для визначення компонент вектора деформацій $\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{12})^T$, напружень $\boldsymbol{\sigma} = (\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12})^T$, температури $T(\mathbf{x}, \tau)$ та вологовмісту $U(\mathbf{x}, \tau)$ дерев'яного бруса протягом часу $\tau \in [0, \tau_{cym}]$ в області поперечного перетину $\Omega = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2); x_1 \in [0, l_1], x_2 \in [0, l_2]\}$ (l_1, l_2 – половини геометричних розмірів), центр якого суміщено з початком координат, а осі анізотропії збігаються з координатними осями, побудовано так. Компоненти вектора напружень задовольняють рівняння рівноваги [7] з граничними умовами, що враховують відсутність зовнішніх зусиль:

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} = 0; \quad \sigma_{ij} \Big|_{x_1=l_1, x_2=l_2} = 0. \quad (1)$$

Моделювання зв'язку між компонентами напружень та деформацій деревини ґрунтується на інтегральних рівняннях Больцмана–Вольтера та законах усадки гігроскопічних матеріалів [7; 15]. Для врахування механіко-сорбційних деформацій, зумовлених швидкістю зміни вологості, функції реологічної поведінки матеріалів доповнено співвідношеннями механіко-сорбційної повзучості [19]. Тому зв'язок між напруженнями і деформаціями з урахуванням анізотропії механічних властивостей у матеріалі має вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}(\tau) &= C_{11}(T, U) [\varepsilon_{11}(\tau) - \varepsilon_{U1}] - C_{11}(T, U) \int_0^\tau R_{11}(\tau - s, T, U) \cdot [\varepsilon_{11}(\tau) - \varepsilon_{U1}] ds + \\ &+ C_{12}(T, U) [\varepsilon_{22}(\tau) - \varepsilon_{U2}] - C_{12}(T, U) \int_0^\tau R_{12}(\tau - s, T, U) [\varepsilon_{22}(\tau) - \varepsilon_{U2}] ds; \\ \sigma_{22}(\tau) &= C_{21}(T, U) [\varepsilon_{11}(\tau) - \varepsilon_{U1}] - C_{21}(T, U) \int_0^\tau R_{21}(\tau - s, T, U) [\varepsilon_{11}(\tau) - \varepsilon_{U1}] ds + \\ &+ C_{22}(T, U) (\varepsilon_{22}(\tau) - \varepsilon_{U2}) - C_{22}(T, U) \int_0^\tau R_{22}(\tau - s, T, U) [\varepsilon_{22}(\tau) - \varepsilon_{U2}] ds; \\ \sigma_{12}(\tau) &= 2C_{33}(T, U) \varepsilon_{12}(\tau) - 2C_{33}(T, U) \int_0^\tau R_{33}(\tau - s, T, U) \varepsilon_{12}(s) ds, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\boldsymbol{\varepsilon}_U = (\varepsilon_{U1}, \varepsilon_{U2}, \varepsilon_{U3})^T$ – вектор компонент деформацій, зумовлених зміною температури і вологовмісту деревини; C_{ij} – компоненти тензора пружності деревини, залежні від температури і вологовмісту.

Для моделювання механіко-сорбційних деформацій, зумовлених швидкістю зміни вологості у деревині, використані рівняння [19]:

$$\frac{\partial \varepsilon_{Mij}}{\partial \tau} = m_{ij} \left(\sigma_{ij} - E_m \varepsilon_{Mij}(\tau) \right) \left| \frac{\partial U}{\partial \tau} \right|, \quad (3)$$

де m_{ij} – компоненти тензора механіко-сорбційних деформацій деревини. Вони та параметр E_m залежать від температури матеріалу і визначаються за експериментальними даними у радіальному і тангентальному напрямках анізотропії деревини.

Для моделювання пластичних деформацій у деревині використано рівняння пластичного плину Прандтля–Рейса [5]. Співвідношення між диференціалами напружень і деформацій для плоского напруженого стану мають вигляд:

$$\begin{aligned} d\sigma_{ij} &= \frac{E}{2(1+\nu)} \left(d\varepsilon_{ij} + \frac{\nu}{1-2\nu} \delta_{ij} d\varepsilon_{kk} - s_{ij} \frac{s_{ke} d\varepsilon_{ke}}{s} \right); \quad s = \frac{2}{3} \sigma \left(1 + \frac{H}{3G} \right); \\ \bar{\sigma} &= \sqrt{\frac{3}{2} s_{ij} s_{ij}}; \quad H = \frac{d\bar{\sigma}}{d\varepsilon_{nn}}; \quad d\varepsilon_{nn} = \frac{3}{2} \sqrt{d\varepsilon_{ij}^{nn} d\varepsilon_{ij}^{nn}}, \end{aligned} \quad (4)$$

де s_{ij} – дівігатори деформацій; δ_{ij} – символ Кронекера.

Функції реологічної поведінки деревини під час сушіння з урахуванням механізму нагромадження незворотних деформацій мають такий вигляд:

$$R(\tau, U, T) = \left[a_0 - \sum_{i=1}^M a_i \exp(-b_i \tau) \right] h(\tau) h(\tau_0 - \tau) - \left[\alpha_0 - \sum_{i=1}^M \alpha_i \exp(-\beta_i (\tau - \tau_0)) \right] h(\tau - \tau_0), \quad (5)$$

де $h(\tau)$ – функція Хевісайда, а невідомі коефіцієнти a_i , b_i , α_i , β_i визначено методом найменших квадратів на основі апроксимації експериментальних даних повзучості зразків деревини під навантаженням та після розвантаження [13; 15; 17]. Вони є функціями температури і вологості.

Двовимірна математична модель визначення полів температури і вологості з урахуванням анізотропії теплофізичних характеристик описується системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial x_2} \right) + \varepsilon \rho_0 r \frac{\partial U}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x_1} \left(a_1 \frac{\partial U}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(a_2 \frac{\partial U}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(a_1 \delta \frac{\partial T}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(a_2 \delta \frac{\partial T}{\partial x_2} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

Крайові умови мають вигляд:

$$\begin{aligned} \lambda_i \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{x_i=l_i} + \rho_0 (1 - \varepsilon) \beta_i (U|_{x_i=l_i} - U_p) &= \alpha_i (t_c - T|_{x_i=l_i}); \\ \left(a_i \frac{\partial U}{\partial \mathbf{n}} + a_i \delta \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} \right) \Big|_{x_i=l_i} &= \beta_i (U_p - U|_{x_i=l_i}); \quad \left(\alpha_i \frac{\partial U}{\partial \mathbf{n}} + \alpha_i \delta \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} \right) \Big|_{x_i=0} = 0; \\ \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{x_i=0} &= 0; \quad U|_{\tau=0} = U_0; \quad T|_{\tau=0} = T_0, \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (7)$$

Тут введено позначення: $T_0(\mathbf{x})$, $U_0(\mathbf{x})$ – початкові розподіли температури та вмісту вологи у матеріалі; $U_p(T_c, \phi)$ – рівноважна вологість; $c(T, U)$ – теплоємність; $\rho(U)$ – густина; $\lambda_i(T, U)$, $a_i(T, U)$ – коефіцієнти теплопровідності та волого-провідності деревини у напрямках анізотропії; ε – коефіцієнт фазового переходу; ρ_0 – базисна густина; r – питома теплота пароутворення; $\delta(T, U)$ – термоградієнтний коефіцієнт; $\alpha_i(T_c, \nu)$ – коефіцієнти теплообміну; $\beta_i(T_c, \phi, \nu)$ – коефіцієнти вологообміну; T_c – температура середовища; $\phi(\tau)$ та $\nu(\tau)$ – відносна вологість та швидкість руху агента сушіння; \mathbf{n} – вектор зовнішньої нормалі границі області Ω ; τ – поточний час.

Алгоритмічні та програмні аспекти реалізації моделі. Для чисельної реалізації математичних моделей неізотермічного масоперенесення у деревині (6) – (7) використано метод скінченних елементів (МСЕ) [8]. Для цього отримане еквівалентне варіаційне формулювання моделі з допущенням, що зміну вологовмісту в часі можна подати у вигляді суми складових, пов'язаних з потоком масоперенесення за допомогою градієнтів вологовмісту і температури. Кінцева система матричних рівнянь для реалізації математичної моделі (6) – (7) за МСЕ виглядає так [9; 12]:

$$[\mathbf{C}] \frac{\partial \{\mathbf{U}\}}{\partial \tau} + [\mathbf{K}]\{\mathbf{U}\} + \{\mathbf{F}\} = 0; \quad [\bar{\mathbf{C}}] \frac{\partial \{\mathbf{T}\}}{\partial \tau} + [\bar{\mathbf{K}}]\{\mathbf{T}\} + \{\bar{\mathbf{F}}\} = 0, \quad (8)$$

де $[\mathbf{C}] = \int_V \rho_0 [\mathbf{N}]^T [\mathbf{N}] dV$; $[\mathbf{K}] = \int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}^*] [\mathbf{B}] dV + \int_S \rho_0 \beta_w [\mathbf{N}]^T [\mathbf{N}] dS$; $\{\mathbf{F}\} = \int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{H}] [\mathbf{B}] [\mathbf{T}] dV - \int_S \rho_0 \beta U_p [\mathbf{N}]^T dS$ – відповідно матриці теплофізичних властивостей матеріалу, демпфування та наванта-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ження, $[\mathbf{N}]$ – матриця функцій форми. Аналогічний вигляд мають матриці $[\bar{\mathbf{C}}]$, $[\bar{\mathbf{K}}]$, $\{\bar{\mathbf{F}}\}$, пов'язані з коефіцієнтами теплопровідності та теплообміну. Для знаходження значень температури $\{\mathbf{T}\}$ і вологості $\{\mathbf{U}\}$ у будь-який момент часу τ використано метод скінченних різниць [4]. Оскільки теплофізичні характеристики деревини залежать від температури і вологості, а рівняння моделі (6) та (7) взаємопов'язані, то ітераційний процес реалізації рівнянь (9) здійснюється на кожному часовому кроці з урахуванням додаткової ітераційної процедури, яка уточнює вплив вологості на розподіл температури у матеріалі і навпаки [9; 12]. Завершення ітерацій для рівнянь (9) передбачає виконання умов: $\{U_n\} - \{U_{n-1}\} \leq 10^{-4}$ і $\{T_n\} - \{T_{n-1}\} \leq 10^{-4}$.

Для чисельної реалізації математичної моделі (1) – (5) пружнов'язкопластичного деформування деревини в умовах неізотермічного вологоперенесення розвинено МСЕ для дослідження деформативності деревини з урахуванням механіко-сорбційних і пластичних деформацій та механізму переродження деформацій. Для цього на основі мінімуму повної потенціальної енергії отримано еквівалентне варіаційне формулювання задачі. Для отримання основних співвідношень МСЕ використано скінченно-різницеву апроксимацію векторів переміщень $\{\mathbf{u}\}$, деформації $\{\boldsymbol{\varepsilon}\}$ і функції реологічної поведінки деревини $\mathbf{R}(\tau, \tau')$ у часі. З умови мінімуму функціонала $\delta\Omega = 0$ отримано систему алгебраїчних рівнянь для знаходження невідомих переміщень на кожному часовому кроці $\Delta\tau$; ($i = \overline{1, M}$, M – кількість часових інтервалів) [9; 12]:

$$\sum_{n=1}^M [\bar{\mathbf{K}}^{(n)}] \{\mathbf{u}\} = \sum_{n=1}^M \{\bar{\mathbf{F}}^{(n)}\} - \sum_{n=1}^M [\bar{\mathbf{K}}^{(n)}] \left(\{\alpha\} \Delta T + \{\beta\} \Delta U + [\mathbf{m}] \left\| \frac{dU}{d\tau} \right\| \right), \quad (9)$$

де інтеграл $[\bar{\mathbf{K}}^{(n)}]$ визначають матрицю вузлової жорсткості матеріалу, яка визначається пружними або пластичними характеристиками деревини та геометричними розмірами елементів розбиття. У разі пружного деформування приймається, що $[\bar{\mathbf{K}}^{(n)}] = [\mathbf{K}^{(n)}]$. Для пружнопластичного деформування ($\sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2} - \sigma_{11}\sigma_{22} + 3\sigma_{12}^2 > \sigma_{IT}$, σ_{IT} – границя текучості деревини) матриця жорсткості складається з двох матриць $[\mathbf{K}^{(n)}]$ і $[\mathbf{K}^{(n)pl}]$, а $[\mathbf{C}^{(n)pl}]$ обчислюється на основі (4). Матриця навантаження $\{\bar{\mathbf{F}}^{(n)}\}$ визначається реологічною поведінкою деревини, а також температурно-вологісними характеристиками матеріалу. Вектор шуканих компонент $\{\mathbf{u}\}$ на i -му кроці за розбиттям по часу є невідомим відносно обчислень $\{\mathbf{u}\}$ на попередніх $i-1$ кроках залежно від розподілу температури і вологості, які визначаються на тих самих кроках за алгоритмом, що описувався вище.

Для чисельної реалізації математичних моделей тепломасоперенесення (6) – (7) і пружнов'язкопластичного деформування (1) – (5) деревини розроблене у межах об'єктно-орієнтованого підходу прикладне програмне забезпечення [9]. Програмний комплекс містить інформаційну модель та інтерфейс програмної системи у вигляді пакетів класів та відношень між ними з використанням графічних діаграм UML, компоненти програмного коду, обчислювальні схеми реалізації МСЕ. Розроблені класи відображають сутність об'єктно-орієнтованої реалізації методу скінченних елементів. В окремі пакети виділено класи, які реалізують: геометричні та фізико-механічні характеристики деревини; розбиття області на скінченні елементи за допомогою сітки вузлів та елементів; визначення базисних функцій у межах скінченних елементів; обчислювальні класи (квадратури для чисельного інтегрування, інтерполяційні функції); розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР); класи орієнтовані на конкретні обчис-

лення матричної та векторної алгебри; класи збереження введення та виведення даних; інтерфейс користувача.

Результати числового експерименту. На основі розроблених математичних моделей ізотермічного вологоперенесення та пружнов'язкопластичного деформування капілярно-пористих матеріалів, прикладного програмного забезпечення наведені результати чисельного аналізу впливу основних факторів геометричних розмірів деревини, початкової вологості на розвиток напружено-деформівного стану деревини. Проаналізовано вплив анізотропії механічних характеристик і параметрів механіко-сорбційної повзучості на розвиток напружень у деревині.

Для чисельного дослідження процесів тепловологоперенесення і деформування деревини за математичними моделями (1) – (5), (6), (7) використані такі параметри зовнішнього середовища і тепловологообміну: для $U > 0,35$, $t_c = 79$ °C, $\varphi = 0,77$, коефіцієнт теплообміну $\alpha = 23 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, коефіцієнт вологообміну $\beta = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$; для $U = 0,35 \div 0,25$, відповідно $t_c = 84$ °C, $\varphi = 0,62$, $\alpha = 22,5 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\beta = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$; для $U < 0,25$, відповідно $t_c = 102$ °C, $\varphi = 0,27$, $\alpha = 22 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\beta = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$.

Теплофізичні параметри деревини у процесі сушіння визначаються за апроксимаційними залежностями [16] від вологості і температури. Але для деяких параметрів необхідні уточнення. Зокрема, коефіцієнти вологопровідності деревини за даними [16] залежать лише від температури. Дані досліджень [20] свідчать про суттєву залежність α_m від вологості. Тому для визначення залежності α_m як функції $\alpha_m(U, t)$ використані результати експериментальних досліджень [20]. На основі оброблення експериментальних даних [2] отримана залежність коефіцієнта вологопровідності деревини від вологості для сталої температури:

$$a_m(U) = -274,391u^5 + 634,908u^4 - 526,7u^3 + 181,864u^2 - 22,655u + 1,905. \quad (10)$$

Тоді для розрахунків приймалося, що: $a_m = a_{mt} \cdot a_{mu}$; $a_{m\text{п\text{о}o}}/a_{m\text{ма}i} = 1,25$.

Тому для визначення коефіцієнта вологообміну використовувалась формула [3]:

$$\alpha_m = 0,95 \left(\frac{T}{(P/P_a)\phi\varepsilon} \right) \cdot 10^{-9}, \quad (11)$$

де ε – критерій фазового переходу; T – абсолютна температура середовища, К.

Згідно з формулою Томсона тиск пари у капілярах визначається за формулою:

$$P = P_0 \exp(-2\sigma V_p / rTR), \text{ Па}, \quad (12)$$

де σ – поверхневий натяг рідини, Н/м, V_p – молярний об'єм рідини, м³/моль.

Величина r визначається за залежністю $r = r(U)$, яка отримана на основі моделювання структури деревини системою непостійних капілярів, сукупністю циліндрів радіуса r , який залежить від вологості [18].

Для чисельної реалізації моделі використовувалися такі дані: $U_0 = 0,40$; $r = 2500 \text{ кДж/кг}$; $\rho_0 = 460 \text{ кг/м}^3$; $\rho_6 = 430 \text{ кг/м}^3$; $v = 2 \text{ м/с}$; $l_1 = 100 \text{ мм}$; $l_2 = 50 \text{ мм}$. У рівняння математичної моделі перенесення тепла входить критерій фазового переходу ε . Він визначає частку вологи, яка випаровується всередині деревини. Обчислення проводились для різних значень $\varepsilon = 0; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0$. Результати досліджень показали незначний вплив зміни параметра ε на розподіл температурно-вологісних полів для математичної моделі (6) – (7). Тому в розрахунках приймалося значення $\varepsilon = 0,2$.

Результати чисельного моделювання вологовмісту відповідно для різних моментів часу наведено на рис. 1. Значення τ відповідно дорівнюють 300 хв (крива 1); 2400 хв (крива 2); 4800 хв (крива 3); 8000 хв (крива 4). Їх аналіз свідчить про те, що за даних умов зовнішнього середовища утворюється градієнт вологи між поверхнею деревини та

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

приповерхневими і центральним шарами. Процес дифузії вологи у матеріалі є менш інтенсивним від процесу вологообміну поверхні взірця з навколишнім середовищем. Тому значення вологості на поверхні зменшується і прямує до рівноважної, а максимальні градієнти вологовмісту утворюються у початкові моменти часу.

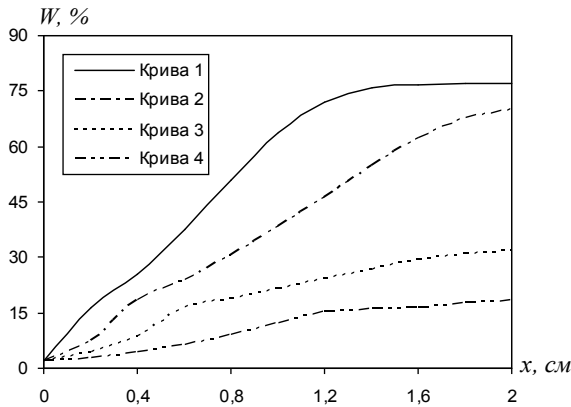


Рис. 1. Розподіл вологості у деревині для різних значень часу

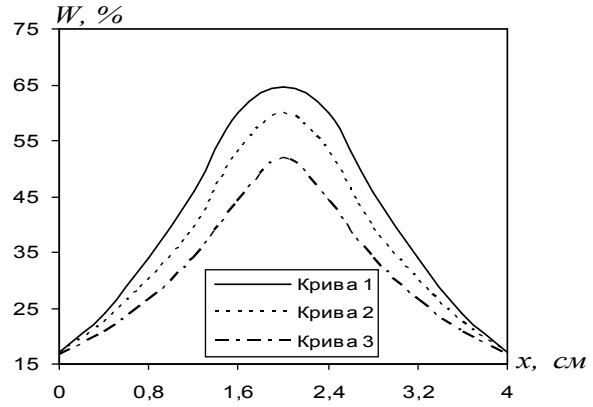


Рис. 2. Залежність розподілу вологи у тангентальній для різних значень часу

Для дослідження впливу анізотропії структурних властивостей деревини проведено чисельний експеримент визначення температурно-вологісних полів у радіальних і тангентальних взірцях. Для виявлення впливу саме анізотропії теплофізичних властивостей умови зовнішнього середовища задавалися такими, для яких коефіцієнти всихання будуть якнайменшими [2; 16]. Геометричні розміри задавалися попередніми. Температура зовнішнього середовища $t_c = 80$ °С, а відносна вологість $\varphi = 0,92$. Рівноважна вологість для деревини $\rho_0 = 460$ кг/м³ дорівнює 18 %. Коефіцієнти теплопровідності у тангентальному напрямі λ_t можна визначити через аналогічний коефіцієнт у радіальному за допомогою поправки K^* , а саме $\lambda_t = K^* \cdot \lambda_p$. Значення цієї поправки залежить від базової густини [15; 16] і дорівнює $K^* \approx 0,98$. Відношення ж коефіцієнтів вологопровідності у радіальному і тангентальному напрямках для деревини є суттєвим. Як зазначалося раніше, $a_{mrad}/a_{mtan} = 1,25$. На рис. 2 наведені криві розподілу вологості тангентальної дошки для різних моментів часу. Їх аналіз свідчить про те, що вологість поверхневої зони взірця суттєво не впливає на розподіл вологості за товщиною тангентальної дошки. Протягом тривалого проміжку часу вологість у центральній частині дошки не змінюється. У початкові моменти часу максимальні значення вологості спостерігаються у приповерхневих шарах.

Деревина являє собою пружнов'язкопластичний матеріал. Згідно з експериментальними дослідженнями тільки елементи «сухого тертя» здатні описати зникнення залишкових напружень у процесі нагрівання та зволоження деревини. У процесі деформування деревини під навантаженням одночасно з пружною деформацією утворюються пластична деформація, зумовлена неоднорідністю структури матеріалу. Механізм розвитку пластичної деформації є іншим, ніж пружної. Для невеликих навантажень пластичні деформації є досить малими. Вони зростають зі збільшенням навантаження і домінують після досягнення границі повзучості. Враховуючи, що деревина складається зі значної кількості клітин різної міцності і враховуючи те, що елементи «сухого тертя» у фіксований момент часу деформування знаходяться в одному зі станів пружності, пластичності або руйнування, у [14] показано можливість застосування сукупності елементів Сен-Венана для моделювання пластичної деформації у деревині. Кожний елемент у моделі Сен-Велана моделює деформування клітин різної міцності і з'єднується паралельно з іншими елементами «сухого тертя».

Таким чином, навіть для незначних короткочасних навантажень показником деформативності, крім пружних напружень, варто враховувати і миттєві незворотні деформації. Їх виявлення обґрунтовується на молекулярному рівні. Деревина складається з різних полімерів, основними з яких є целюлоза та лігнін. Целюлоза утворює фібрилярну арматуру, а лігнін і нецелюлозні елементи складають аморфну матрицю, яка заповнює елементи між фібрилями. За даними [5; 15; 17] такі загальні принципи побудови деревної речовини єдині для деревини різних порід, хоча кількісна будова деревної речовини є різною в клітинах різних видів і навіть суттєво змінюється у клітинах для однієї породи. Отже, целюлоза та лігнін являють собою полімери, молекули яких утворюють значну кількість атомних групувань, з'єднаних хімічними зв'язками у ланцюги різної довжини. Між атомами ланок існують міцні хімічні зв'язки, а самі ланки характеризуються слабкими міжмолекулярними зв'язками. Тому механізм руху макромолекул у деревині під дією зусиль пов'язаний з рухом однієї частини молекул відносно іншої.

Для встановлення значень модуля пластичності E_{nl} взірців необхідно використати масштабні фактори. Згідно з [14], масштабний коефіцієнт модуля пружності E для стандартного взірця у поперечному перерізі без урахування розміру впадин дорівнює $1,56 \div 1,87$. У літературі [15; 17] значний розкид даних навіть для модулів пружності, наприклад, для деревини сосни для 15 % вологості від 618 МПа до 500 МПа зумовлено не лише мінливістю фізико-механічних властивостей деревини, але й різними розмірами взірців в експериментальних дослідженнях.

Для визначення модуля пластичності E_{nl} використана реологічна модель деревини та експериментальні дослідження [7; 14]. Реологічна модель складається з послідовно з'єднаних пружного, в'язкопружного та пластичного елемента. Отриманий вираз для визначення модуля пластичності має вигляд:

$$E_{nl} = \frac{\sigma E_1 E_2}{\varepsilon E_1 E_2 - \sigma (E_1 + E_2) + \sigma E_1 \exp(-E_2 \tau / \eta_2)}, \quad (13)$$

де E_1, E_2 – миттєвий і тривалий модулі пружності; η_2 – коефіцієнт релаксації.

Для чисельної реалізації математичної моделі щодо дослідження напружено-деформівного стану в деревині в умовах неізотермічного вологоперенесення значення модулів пружності, які залежні від температури і вологості, перераховування через модулі Юнга та зсуву. Ці значення вибирались у вигляді [15; 17]:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{x_0} (1 + E_{xt} (T_0 - T)) + E_{xu} (U_p - U); \\ E_2 &= E_{y_0} (1 + E_{yt} (T_0 - T)) + E_{yu} (U_p - U); \\ G_{12} &= G_{xy_0} (1 + G_{xyt} (T_0 - T)) + G_{xyu} (U_p - U), \end{aligned} \quad (14)$$

де $E_{x_0}, E_{xt}, E_{xu}, E_{y_0}, E_{yt}, E_{yu}, G_{xy_0}, G_{xyt}, G_{xyu}$ – коефіцієнти, які визначаються на основі апроксимації експериментальних даних. Для їх визначення використані експериментальні дослідження [17] модулів пружності та зсуву деревини залежно від зміни температури і вологості. Компоненти рівноваги для моделювання механіко-сорбційних деформацій також визначалися за допомогою апроксимації експериментальних даних [17; 20] вони визначалися за співвідношеннями:

$$m_1 = m_{x_0} (1 + m_{xt} (T_0 - T)); m_2 = m_{y_0} (1 + m_{yt} (T_0 - T)); m_{12} = m_{xy_0} (1 + m_{xyt} (T_0 - T)), \quad (15)$$

де $m_{x_0}, m_{xt}, m_{y_0}, m_{yt}, m_{xy_0}, m_{xyt}$ – коефіцієнти, визначені на основі експериментальних даних для $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Зокрема, $m_{x_0} = 0,15 \text{ МПа}^{-1}, m_{y_0} = 0,2 \text{ МПа}^{-1}$,

$m_{xy_0} = 0,8 \text{ МПа}^{-1}$, $m_{xt} = m_{yt} = m_{xyt} = -0,01^\circ \text{C}^{-1}$. Коефіцієнт $\mu_{12} = 1$. Коефіцієнти всихання у напрямках анізотропії у рівні $\beta_1 = 0,19$; $\beta_2 = 0,35$.

Наведені математичні моделі з вищенаведеними вхідними значеннями і допущеннями використані для дослідження впливу анізотропії механічних характеристик деревини, коефіцієнтів всихання і коефіцієнтів механіко-сорбційної повзучості на розподіл нормальних напружень на поверхні і при поверхневому шарі. Для цього у процесі чисельного моделювання змінювався досліджуваний показник шляхом зменшення до половини його значення. Зокрема, на рис. 3 наведено графічні залежності нормального напруження σ_x на поверхні тангентального пиломатеріалу для різних значень компонент тензора пружності.

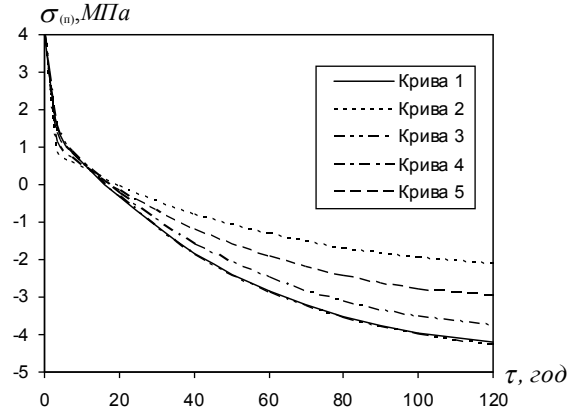


Рис. 3. Вплив анізотропії компонент тензора пружності на розподіл нормальних напруження σ_x на поверхні

Суцільна крива 1 відповідає чисельному розрахунку без зміни пружних характеристик. Найбільший вплив на розподіл напружень σ_x має зміна модуля Юнга у тангентальному напрямі крива 2 (для якої $E_2^{(2)} = 0,5 E_2$, а інші коефіцієнти не змінювалися у процесі чисельного моделювання). Зокрема, збільшення відхилення σ_x для випадку $E_2^{(2)} = 0,5 E_2$ від σ_x без зміни E_2 є суттєвішим зі зростанням часу осушування. Зміна модуля пружності у радіальному напрямі $E_1^{(3)} = 0,5 E_1$ не суттєво впливає на розподіл σ_x на поверхні (крива σ_x у цьому випадку практично збігається з σ_x без зміни характеристик). Зменшення коефіцієнта Пуассона $\nu_{12}^{(4)} = 0,5 \nu_{12}$ на зміну компоненти σ_x характеризує крива 4, а зменшення модуля зсуву $G_{12}^{(5)} = 0,5 G_{12}$ на σ_x описує крива 5. Аналіз графічних залежностей свідчить про зростання зміни анізотропних механічних характеристик деревини, залежних від вологості на розподіл нормальних напружень σ_x на поверхні з плином часу сушіння деревини.

На рис. 4 наведені результати чисельного моделювання впливу анізотропії коефіцієнтів всихання β_1 і β_2 на розподіл напружень на поверхні. Крива 2 описує вплив зміни коефіцієнта β_1 у тангентальному напрямі, а крива 3 вплив коефіцієнта β_2 на розподіл σ_x . На початку процесу осушування вплив анізотропії коефіцієнтів всихання незначно впливає на розподіл, криві 2, 3 корелюють з кривою 1, для якої β_1 і β_2 не змінюються. Аналіз кривих розподілу σ_x свідчить про переважаючий вплив коефіцієнта всихання для тангентального напрямку β_1 на розподіл напружень у порівнянні з коефіцієнтом для радіального напрямку. Зменшення коефіцієнта всихання у тангентальному напрямі для $\tau = 48$ год зумовлює зменшення напружень σ_x на 25 % у порівнянні зі зменшенням β_2 для радіального напрямку.

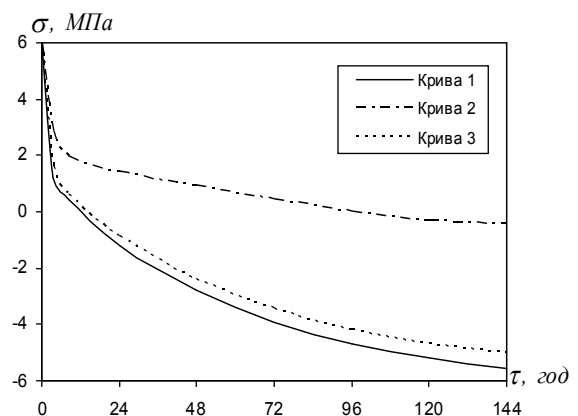


Рис. 4. Вплив анізотропії коефіцієнтів β_1 , β_2 на розподіл нормальних напруження σ_x на поверхні

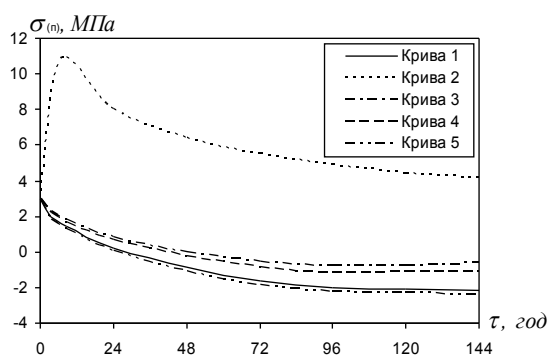


Рис. 5. Вплив анізотропії коефіцієнтів механіко-сорбційної повзучості на розподіл нормальних напружень σ_x на поверхні

Дослідження впливу зміни коефіцієнтів механіко-сорбційної повзучості на розподіл напружень на поверхні наведено на рис. 5. Особливо значний вплив спостерігається зі зміною коефіцієнта у тангентальному напрямі m_1 . Зокрема зменшення $m_1^{(2)} = 0,5 m_1$ (крива 2) веде не лише до кількісної зміни напружень у порівнянні з величиною σ_x для сталих значень коефіцієнтів, а й до якісної. Вплив інших коефіцієнтів, зокрема, у радіальному напрямі, $m_2^{(3)} = 0,5 m_2$ (крива 3), а коефіцієнта $\mu_{12}^{(4)} = 0,5 \mu_{12}$ (крива 4) є менш суттєвим. Коефіцієнт m_{12} незначно впливає на величину

σ , оскільки крива 5, для якої $m_{12}^{(5)} = 0,5 m_{12}$ незначно відрізняється від кривої 1.

Результати досліджень впливу зміни коефіцієнтів Юнга E_1, E_2 , Пуасона ν_{12} і зсуву G_{12} у напрямках анізотропії на розподіл нормальних напружень для значень σ_x ($0 \leq x \leq 150$ мм, $y = 37,5$ мм) показано на рис. 6. Суцільна крива 1 відповідає значенню σ для вказаних значень пружних коефіцієнтів у процесі чисельного моделювання. Найменший вплив на розподіл напружень σ_x має зменшення модуля Юнга у радіальному напрямі (крива 2 для $E_2^{(2)} = 0,5 E_2$, інші коефіцієнти залишаються без змін) та коефіцієнта Пуасона (крива 5 для $\nu_{12}^{(5)} = 0,5 \nu_{12}$). Найбільш суттєво впливає зміна коефіцієнта Юнга у тангентальному напрямі (крива 3 для $E_1^{(3)} = 0,5 E_1$). Така зміна для $\tau = 8$ год веде до зменшення максимального значення стискаючих напружень від $\sigma = -0,83$ МПа до $\sigma = -0,59$ МПа. Також у часі зсувається момент зміни знаку від стискаючого характеру до розтягуючого. Це спостерігається і для зменшення модуля зсуву (крива 4 для $G_{12}^{(4)} = 0,5 G_{12}$).

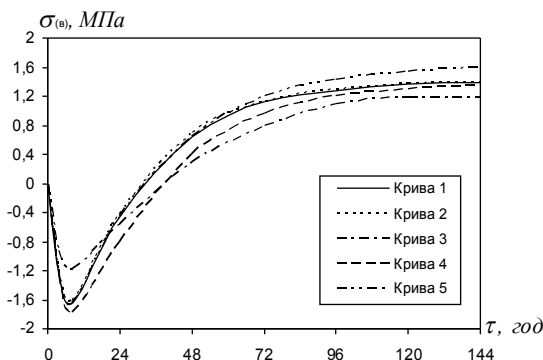


Рис. 6. Вплив анізотропії компонент тензора пружності на розподіл нормальних напружень у приповерхневому шарі

Висновки та пропозиції. Сформульована математична модель в'язкопружного деформування і процесів тепломасоперенесення у капілярно-пористих матеріалах з урахуванням змінних анізотропних тепломеханічних характеристик, яка враховує пластичні деформації, деформації, зумовлені механіко-сорбційною повзучістю і дає змогу визначити двовимірний напружено-деформівний стан в умовах неізотермічного вологоперенесення. Побудовано алгоритм методу скінченних елементів та розроблено прикладне програмне забезпечення для дослідження двовимірного анізотропного напружено-деформівного стану капілярно-пористих матеріалів у пружнов'язкопластичній

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

області деформування з урахуванням механіко-сорбційної повзучості. У результаті обчислювальних експериментів, проведених з використанням розроблених прикладних програмних засобів, встановлено закономірності впливу анізотропії теплофізичних та механічних характеристик деревини, її початкової вологості, геометричних характеристик, механізму механіко-сорбційної повзучості на зміну пружнов'язкопластичного стану деревини в умовах неізотермічного вологоперенесення.

Список використаних джерел

1. *Белянкин Ф. П.* Деформативность и сопротивляемость древесины / Ф. П. Белянкин, В. Ф. Яценко. – К. : АН УССР, 1957. – 199 с.
2. *Гороховский А. Г.* Исследование разброса влажности сухих пиломатериалов на качество продукции деревообработки / А. Г. Гороховский // *Деревообрабатывающая промышленность.* – 2004. – № 4. – С. 56–59.
3. *Лыков А. В.* Тепломассообмен : справочник / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1971. – 560 с.
4. *Можаровский Н. С.* Методы и алгоритмы решения краевых задач / Н. С. Можаровский, Н. Е. Кочаловская. – К. : Вища школа, 1981. – 287 с.
5. *Писаренко Г. С.* Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К. : Наук. думка, 1988. – 736 с.
6. *Пінчевська О. О.* Вплив режимів термічного модифікування на фізичні властивості деревини граба / О. О. Пінчевська, В. М. Головач, О. Ю. Горбачова // *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology.* – Варшава, 2014. – № 88 – С. 193–197.
7. *Савін Г. М.* Элементы механики спадкових середовищ. Вип. II: Реологічні тіла з загальним законом лінійного деформування / Г. М. Савін. – К., 1970. – 132 с.
8. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 378 с.
9. *Соколовський Я. І.* Алгоритмічне та програмне забезпечення системи моделювання та аналізу процесу сушіння капілярно-пористих матеріалів / Я. І. Соколовський, І. М. Крошній // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології.* – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2012. – № 732. – С. 306–315.
10. *Соколовський Я. І.* Математична модель в'язкопружного деформування капілярно-пористих матеріалів / Я. І. Соколовський, О. В. Мокрицька // *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України : зб. наук.-техн. праць.* – 2011. – Вип. 21.2. – С. 320–328.
11. *Соколовський Я. І.* Математична модель тепловологоперенесення та напружено-деформівного стану у капілярно-пористих матеріалах із фрактальною структурою / Я. І. Соколовський, В. М. Шиманський // *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології.* – Львів : Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2012. – Вип. 16. – С. 133–142.
12. *Соколовський Я. І.* Математичне моделювання впливу зовнішнього середовища на напружено-деформівний стан деревини у процесі сушіння / Я. І. Соколовський, І. М. Крошній // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика.* – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. – № 711. – С. 72–82.
13. *Соколовський Я. І.* Методика та результати експериментальних досліджень реологічної поведінки деревини / Я. І. Соколовський, Й. В. Андрашек // *Науковий вісник УкрДЛТУ України : зб. наук.-техн. праць.* – 1999. – Вип. 9.13. – С. 15–26.
14. *Тюленева Е. М.* Экспериментальное определение модуля упругости первого рода / Е. М. Тюленева // *Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. ст.* – Красноярськ, 2004. – Ч. II. – С. 113–114.
15. *Уголев Б. Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения : учеб. для лесотехн. вузов / Б. Н. Уголев ; М-во образования Рос. Федерации, Моск. гос. ун-т леса. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : МГУЛ, 2002. – 340 с.
16. *Шубин Г. С.* Сушка и тепловая обработка древесины / Г. С. Шубин. – М. : Лесная промышленность, 1990. – 336 с.
17. *Bodic J.* Mechanics of Wood and Composites / Bodic J., Jayne A. – New York : Van Nostrand Reinhold, 1982. – 712 p.

18. John F. Sian. Wood: influence of moisture on physical properties / John F. Sian. – Virginia, 1995. – 227 p.
19. Niemz P. Research into determination of the Poisson ratio of spruce wood. / P. Niemz, D. Caduff // Holz Roh Werkst. – 2008. – № 66(1). – Pp. 1–4.
20. Perre P. A physical and mechanical model able to predict the stress field in wood over a wide range of drying conditions / P. Perre, J. Passard // Drying Technology. – 2004. – Vol. 22 (no. 1-2). – Pp. 27–44.
21. Sokolovskyy Ya. Demention of the Non-isotropic Elastic Features for Wood by an Ultrasonic Method / Ya. Sokolovskyy, O. Storoshuk // 57th SWST Convention of Society of Wood Science and Technology. – Zvolen, Slovakia, 2014. – Pp. 178–187.
22. Sokolowskyi Ya. Mathematical modelling of non-isothermal moisture transfer and rheological behavior in capillary-porous materials with fractal structure during drying / Ya. Sokolowskyi, V. Shymanskyi // Computer and Information Science. – Canadian Center of Science and Education. – 2014. – Vol. 7, No. 4. – Pp. 111–122.

References

1. Beliankin, F.P., Iacenko, V.F. (1957). *Deformativnost i soprotivliaemost [Deformability and resistance of wood]*. Kiev: AN USSR (in Russian).
2. Gorokhovskii, A.G. (2004). Issledovanie rasbrosa vlazhnosti sukhikh pilomaterialov na kachestvo produktsii derevoobrabotki [Investigation of the dispersion of humidity of dry timber on the quality of wood products]. *Derevoobrabatyvaiushchaia promyshlennost – Woodworking industry*, no. 4, pp. 56–59 (in Russian).
3. Lykov, A.V. (1971). *Teplomassoobmen: spravochnik [Heat and mass transfer: reference book]*. Moscow: Energia (in Russian).
4. Mozharovskii, N.S., Kochalovskaia, N.E. (1981). *Metody i algoritmy resheniia kraevykh zadach [Methods and algorithms for solving boundary value problems]*. Kiev: Vyshcha shkola (in Russian).
5. Pisarenko, G.S., Iakovlev, A.P., Matveev, V.V. (1988). *Spravochnik po soprotivleniiu materialov [Handbook on the resistance of materials]*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
6. Pinchevska, O.O., Holovach, V.M., Horbachova, O.Yu. (2014). Vplyv rezhymiv termichnoho modyfikuvannia na fizychni vlastyvoli derevyny hraba [The influence of thermal modification modes on the physical and mechanical properties of hornbeam]. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology*, no. 88, pp. 193–197 (in Ukrainian).
7. Savin, G.M. (1970). *Elementy mekhaniky spadkovykh seredovyshch. Vyp. II: Reologichni tila z zagalnym zakonom liniynogo deformuvannja [Elements of mechanics of hereditary environments. Volume II: Rheological body with universal law of linear deformation]*. Kiev (in Ukrainian).
8. Segerlind, L. (1979). *Primenenie metoda konechnykh elementov [The application of the finite element method]*. Moscow: Mir (in Russian).
9. Sokolovskii, Ya.I., Kroshnii, I.M. (2012). Alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia systemy modeliuvannia ta analizu protsesu sushinnia kapiliarno-porystykh materialiv [Algorithmic and software system modeling and analysis of drying of capillary-porous materials]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu „Lvivska politekhnika”: Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnologii – Proceedings of the National University “Lviv Polytechnic”, Computer Science and Information Technology*. Lviv: Publishing House Lviv Polytechnic, no. 732, pp. 306–315 (in Ukrainian).
10. Sokolovskii, Ya.I., Mokrytska, O.V. (2011). Matematychna model viazkopruzhnogo deformuvannia kapiliarno-porystykh materialiv [Mathematical model of viscoelastic deformation of capillary-porous materials]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy – Scientific Bulletin of National Forestry University of Ukraine*. Lviv, Ukraine NLTU, no. 21.2, pp. 320–328 (in Ukrainian).
11. Sokolovskii, Ya.I., Shymanskyi, V.M. (2012). Matematychna model teplovohoperenesennia ta napruzhenno-deformivnoho stanu u kapiliarno-porystykh materialakh iz fraktalnoiu strukturoiu [A mathematical model of heat and moisture transfer and stress-strained state in capillary-porous materials with fractal structure]. *Fizyko-matematychne modeliuvannia ta informatsiini tekhnologii – Physical modeling and information technology*. Lviv: Center of Mathematical Modeling Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics. Pidstryhach NAS of Ukraine, no. 16, pp. 133–142 (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

12. Sokolovskii, Ya.I., Kroshnyi, I.M. (2011). Matematychno modeliuвання vplyvu zovnishnoho seredovyshcha na napruzhenno-deformivnyi stan derevyny u protsesi sushinnia [Mathematical modeling of the impact of the environment on stress-strain state in the process of drying wood]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu „Lvivska politekhnikha”: Kompiuterni systemy proektuvannia. Teoriia i praktyka – Visnyk of the National University “Lviv Polytechnic”: Computer Systems. Theory and practice*. Lviv: Publishing House Lviv Polytechnic, no. 711, pp. 72–82 (in Ukrainian).
13. Sokolovskii, Ya.I., Andrashek, I.V. (1999). Metodyka ta rezultaty eksperymentalnykh doslidzen reolohichnoi povedinky derevyny [The methodology and results of experimental studies rheological behavior of wood]. *Naukovyi visnyk UkrDLTU Ukrainy*. Lviv, no. 9.13, pp. 15–26 (in Ukrainian).
14. Tiuleneva, E.M. (2004). Eksperimentalnoe opredelenie modulua uprugosti pervogo roda [Experimental determination of the modulus of elasticity of the first kind]. *Lesnoi i khimicheskii kompleksy – problemy i resheniia – Forest and chemical complexes – problems and solutions*. Krasnoyarsk, part II, pp. 113–114 (in Russian).
15. Ugolev, B.N. (2002). *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedenia [Wood Science with the Basics of Forest Goods Science]* (3ed ed.). Moscow: MGUL (in Russian).
16. Shubin, G.S. (1990). *Sushka i teplovaia obrabotka drevesiny [Drying and heat treatment of wood]*. Moscow: Lesnaia promyshlennost (in Russian).
17. Bodic, J., Jayne, A. (1982). *Mechanics of Wood and Composites*. New York: Van Nostrand Reinhold.
18. John F. Sian. (1995). *Wood: influence of moisture on physical properties*. Virginia.
19. Niemz, P., Caduff, D. (2008). *Research into determination of the Poisson ratio of spruce wood*. *Holz Roh Werkst*, no. 66(1), pp. 1–4.
20. Perre, P., Passard, J. (2004). A physical and mechanical model able to predict the stress field in wood over a wide range of drying conditions. *Drying Technology*, vol. 22, no. 1–2, pp. 27–44.
21. Sokolovskii, Ya., Storoshuk, O. (2014). Demention of the Non-isotropic Elastic Features for Wood by an Ultrasonic Method. *Proceedings from 57th SWST Convention of Society of Wood Science and Technology* (Zvolen, Slovakia), pp. 178–187.
22. Sokolovskii, Ya., Shymanskyi, V. (2014). Mathematical modelling of non-isothermal moisture transfer and rheological behavior in capillary-porous materials with fractal structure during drying. *Computer and Information Science, Canadian Center of Science and Education*, vol. 7, no. 4, pp. 111–122.

Соколовський Ярослав Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій, Національний лісотехнічний університет України (вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна).

Соколовский Ярослав Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий, Национальный лесотехнический университет Украины (ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина).

Sokolovskyy Yaroslav – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of IT Department, Ukrainian National Forestry University (103 Gen. Chuprynka Str., 79057 Lviv, Ukraine).

E-mail: sokolowsky@ukr.net

Криштапович Володимир Іванович – старший викладач кафедри АКІТ, Національний лісотехнічний університет України (вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна).

Криштапович Владимир Иванович – старший преподаватель кафедры АКІТ, Национальный лесотехнический университет Украины (ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина).

Kryshchapovych Volodymyr – Senior lecturer of AKIT Department, Ukrainian National Forestry University (103 Gen. Chuprynka Str., 79057 Lviv, Ukraine).

E-mail: kvi20051@i.ua

Крошній Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національний лісотехнічний університет України (вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна).

Крошній Игорь Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий, Национальный лесотехнический университет Украины (ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина).

Kroshnyi Igor – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department IT, Ukrainian National Forestry University (103 Gen. Chuprynka Str., 79057 Lviv, Ukraine).

E-mail: kroshny.igor@gmail.com

УДК 620.197

*Вікторія Воробйова, Олена Чигиринець, Анастасія Шакун***ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ
ИЗОПРОПАНОЛЬНОГО ТА ВОДНО-ИЗОПРОПАНОЛЬНОГО ЕКСТРАКТИВ
ВИЧАВКІВ ВІНОГРАДУ СОРТУ *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera****Викторія Воробьева, Елена Чигиринец, Анастасия Шакун***СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА
ИЗОПРОПАНОЛЬНОГО И ВОДНО-ИЗОПРОПАНОЛЬНОГО ЭКСТРАКТОВ
ЖМЫХА ВІНОГРАДА СОРТА *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera****Victoria Vorobyova, Olena Chygyrynets, Anastasia Shakun***COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF THE COMPONENT OF ISOPROPANOL
AND WATER-ISOPROPANOL EXTRACT OF GRAPE-SQUEEZE VARIETY
Vitislabrusca × *Vitisvinifera***

Метою роботи було порівняльне дослідження якісного складу, а саме біологічно активних сполук ізопропанольного і водно-ізопропанольного екстракту відходів виноградної промисловості – вичавків винограду гібридного сорту *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera*. Методом газової хромато-мас-спектрометрії вивчено компонентний склад досліджуваних екстрактів вичавків винограду (сімейства *Vitis* сорту *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera*). У складі ізопропанольного екстракту вичавків винограду міститься 21 індивідуальний компонент, загальний обсяг яких більше 0,1%. Аналіз складу показав, що основними компонентами є альдегіди (капроновий, енантовий, фенілацетальдегід, бутаналь, нонаналь, цитраль), жирні кислоти (гексадеканова, лінолева і (9Z)-Октадеценева кислоти), а також терпенові сполуки. У складі водно-ізопропанольного екстракту додатково ідентифіковані фенольні сполуки. Значну частину біологічно активних речовин становлять альдегіди і жирні кислоти. ІЧ-спектральний аналіз підтверджує наявність в екстрактах вичавків винограду сполук, встановлених мас-спектральним аналізом.

Ключові слова: вичавки винограду *V. Labrusca*, ізопропанольний, водно-ізопропанольний, екстракт, газова хромато-мас-спектрометрія, альдегіди, жирні кислоти, фенольні сполуки.

Рис.: 1. Табл.: 2. Бібл.: 12.

Целью работы было сравнительное исследование качественного состава, а именно биологически активных соединений изопропанольного и водно-изопропанольного экстракта отходов виноградної промисловості – жмыха винограда гибридного сорта *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera*. Методом газовой хромато-масс-спектрометрии изучен компонентный состав исследуемых экстрактов жмыха винограда (семейства *Vitis* сорта *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera*). В составе изопропанольного экстракта жмыха винограда содержится 21 индивидуальный компонент, общий объем которых более 0,1%. Исследование состава показали, что основными компонентами являются альдегиды (капроновый, энантовый, фенилацетальдегид, бутаналь, нонаналь, цитраль), жирные кислоты (гексадекановая, линолевая и (9Z)-Октадеценевая кислота), а также терпеновые соединения. В составе водно-изопропанольного экстракта дополнительно идентифицированы фенольные соединения. Значительную часть биологически активных веществ для обоих экстрактов составляют альдегиды и жирные кислоты. ИК-спектральный анализ подтверждает наличие в экстрактах жмыха винограда соединений, определенных масс-спектральным анализом.

Ключевые слова: жмых винограда *V. Labrusca*, изопропанольный, водно-изопропанольный, экстракт, газовая хромато-масс-спектрометрия, альдегиды, жирные кислоты, фенольные соединения.

Рис.: 1. Табл.: 2. Библ.: 12.

The aim was to study the qualitative composition, namely bioactive compounds of 2-propanol and water 2-propanol extracts of grape industry wastes - pomace grape hybrid varieties of *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera*. By gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) studied component composition of the isopropanol extract of grape pomace (family *Vitis* varieties *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera*). As part of the isopropanol extract of grape pomace contains 21 individual component present in an amount greater than 0.1%. Analysis of the composition indicated that the main components are the aldehydes (caproic, enanthic, phenylacetaldehyde, butanal, nonanal, citral), fatty acids (hexadecanoic, linoleic and (9Z) - Oktadetsenovaya acid), as well as terpene compound. As part of the water-isopropanol extract further identified phenolic compounds. A significant portion of biologically active substances comprise aldehydes and fatty acids. Infrared spectral analysis confirmed the presence of functional groups which are established by connections.

Key words: Grapes *V. Labrusca*, 2-propanol, water 2-propanol, extract, gas chromatography-mass spectrometry, alcohols, aldehydes, terpene compounds.

Fig.: 1. Tabl.: 2. Bibl.: 12.

Вступ. Сучасна тенденція в галузі виробництва косметичної продукції спрямована на створення нових рецептур з використанням комплексу біологічно активних речовин природного походження [1–3]. Найбільш перспективним і ефективним джерелом комплексу біологічно активних речовин є саме рослинна сировина або продукти переробки [2]. Так, цікавим є використання вичавків, що утворюються у процесі переробки вино-

раду. Біологічна цінність відходів переробки винограду обумовлена вмістом біологічно активних речовин (БАР), таких як леткі сполуки, фенольні речовини, вітаміни. На сьогодні при отриманні косметичної продукції, що містить у своєму складі компоненти натурального походження, БАР найчастіше вводяться в рецептури переважно у вигляді екстрактів. Екстракти рослин становлять значний інтерес завдяки їх дешевизні, доступності, широкому спектру корисних компонентів і високій ефективності дії.

Так, нами в попередній роботі визначено якісний склад біологічно активних речовин одного з видів відходів – гребенів винограду – та показана можливість використання ізопропанольного екстракту для створення косметичних засобів з високою біологічною цінністю [4]. Однак у спиртовому екстракті не ідентифіковано фенольні сполуки, які мають антиоксидантні властивості, що обумовлено типом обраного екстрагенту. Водночас відомо, що для отримання екстрактів використовують різні розчинники, проте найбільшого поширення набули водно-спиртові екстракти, які мають високу антиоксидантну активність та містять речовини ліпофільної природи (каротиноїди, токоферолі, стероїди, терпеноїди) і водорозчинні компоненти (полісахариди, ензими, флавоноїди, таніни, поліфеноли і т. ін.) [5]. Це відкриває великі можливості наукового обґрунтування доцільності використання водно-спиртових екстрактів відходів переробки винограду у виробництві косметичних засобів високої якості, у тому числі різного функціонального призначення.

Після переробки винограду в значній кількості залишаються вичавки, які раніше вважалися відходами. Сьогодні відомо, що вони є відмінним джерелом антиоксидантів та інших органічних сполук [6; 7]. Тому метою роботи стало порівняльне дослідження компонентного складу спиртового (ізопропанольного) та водно-спиртового екстракту вичавків винограду гібридного сорту *Vitislabrusca* × *Vitisvinifera*.

Експериментальна частина

Компонентний склад летких речовин рослинних екстрактів вивчали методом хромато-мас-спектрометрії на газовому хроматографі “FINIGANFOCUS” з мас-селективним детектором фірми Termo Electronics. Умови хроматографування детально описані у методиці, що наведена у попередній праці [4]. Відносний кількісний вміст хімічних компонентів екстрактів розраховували методом внутрішньої нормалізації площ піків без коригувальних коефіцієнтів чутливості. Встановлення кількісного вмісту екстрагованих сполук проводили газовим хромато-мас-спектральним методом за зовнішнім стандартом. Реєстрацію ІЧ-спектрів екстрактів рослинної сировини здійснювали на ІЧ – Фур’є – спектрометрі Jasco FT/IR – 4000. Умови дослідження такі: діапазон реєстрації спектра – 4000–400 cm^{-1} ; роздільна здатність – 4 cm^{-1} ; кількість сканів – автоматично; швидкість сканування – 1 мм/с; режим сканування – у прохідному світлі; детектор – TGS.

Результати та обговорення

Згідно з отриманими даними хромато-мас-спектрального аналізу в складі ізопропанольного екстракту вичавків винограду в індивідуальному стані виділено та ідентифіковано близько 22 сполук, загальний обсяг яких більше 0,1 % (табл. 1, рис. 1, а). Всі вони є відомими сполуками і легко ідентифікуються за мас-спектрами і лінійними індексами утримування. Основними компонентами ізопропанольного екстракту є аліфатичні та ароматичні альдегіди, насичені і ненасичені жирні кислоти та терпени. Серед альдегідів у більшій кількості ідентифіковані такі насичені і ненасичені альдегіди: капроальдегід, енантовий альдегід, фенілацетальдегід, бутаналь, нонаналь, цитраль. В екстракті вичавків винограду міститься підвищений вміст таких кислот, як лінолевої, гексадеканової, (9Z)-октадеценової. В незначній кількості ідентифіковані ароматичні альдегіди (бузковий та коричний).

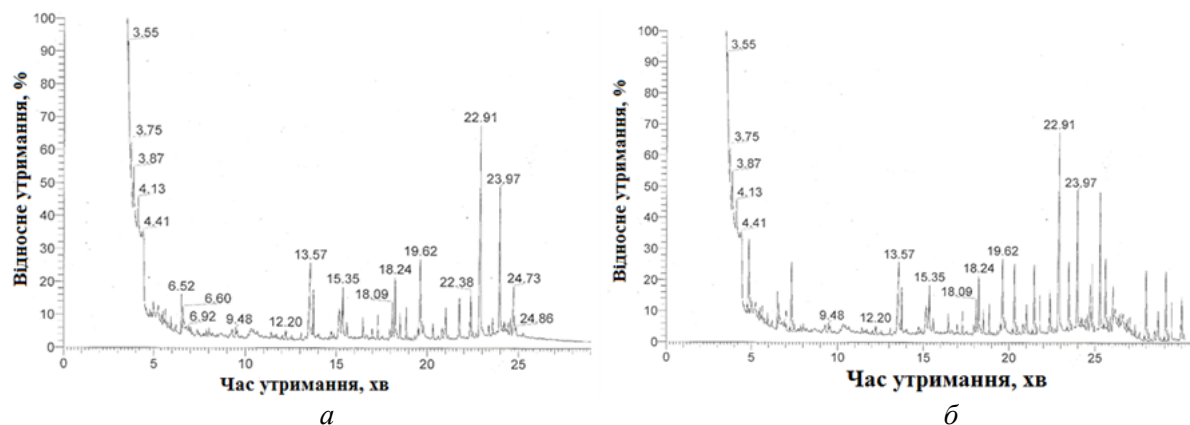


Рис. 1. Хроматограма ізопропанольного (а) та водно-ізопропанольного (б) екстракту вичавків винограду *Vitis labrusca* × *Vitis vinifera*

Дослідження складу водно-спиртового екстракту вичавків винограду показало, що в ньому ідентифікується більше сполук – близько 30, основна кількість яких дублюється зі спиртовим екстрактом. У ньому також переважають аліфатичні та ароматичні альдегіди, насичені та ненасичені жирні кислоти, однак у меншій кількості присутні терпенові сполуки. Зіставлення складів ізопропанольного та водно-ізопропанольного екстрактів свідчить, що в останньому додатково з'являються фенольні сполуки, такі як кверцетин, кемпферол, пеларгонін, галова кислота, катехін та ін. (табл. 1, рис. 1, б). При цьому присутні у водно-спиртовому екстракті флавоноли – це моноглюкозиди (кемпферол-3-моноглюкозид, кверцетин-3-моноглюкозид).

Таблиця 1

Компонентний склад ізопропанольного екстракту вичавків винограду *Vitis labrusca* × *Vitis vinifera*.

№	Назва компонента	Час утримання τ, хв	Кількісне співвідношення, %	
			Ізопропанольний	Водно-ізопропанольний
1	2	3	4	5
1	Капроальдегід	3,55	9,1	5,5
2	Гептаналь (енантовий альдегід)	3,75	8,7	2,5
3	Фенілацетальдегід	3,87	6,5	2,4
4	Бутаналь	4,13	4,8	2,8
5	Нонаналь	4,41	7,0	5,3
6	Цитраль	6,52	2,3	1,3
7	Гліцерин	6,60	0,9	0,7
	Галова кислота	6,81		4
8	Бузковий альдегід	6,92	1,1	0,9
9	Коричний альдегід	9,48	0,9	0,8
10	4-гідрокси-3-метоксибензальдегід	12,20	1,1	1,1
11	2-метил-2-пропаніл 4-гідрокси-4-метил-5-гексаноат	13,57		
12	Гептакозан	17,31	3,2	2,3
13	Лінолева кислота	18,09	4,2	4,3
14	Гексадеканова кислота	18,24	5,4	5,1
15	(9Z)-Октадеценева кислота	19,62	6,1	3
16	α-каріофілен	21,01	1,7	1,1
17	(Нафталін-1-іл) (1-пентил-1Н-індол-3-іл) метанон	22,86	6,2	3,7
18	Каріофілен	22,91	-	3,8
19	Кверцетин	23,07	-	6,4
20	Кверцетин-3-моноглюкозид	23,15	-	7,9
21	Кверцетин-3-моноглюкуронозид	23,49	-	3,6

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
22	α -терпеніол	23,94	9,5	4
23	γ -терпеніол	24,01	4,2	2,8
24	Катехін	24,16	-	2,4
25	Епікатехін	24,46	-	2,5
26	Лупеол	24,52	9,5	3,0
27	Бетулін	27,41	3,8	2,0
28	Кемпферол-3-моноглюкозид	27,43	-	5,1
29	Пеларгонін	27,46	-	4,1
30	Мальвідин	27,52	-	3,2

Таким чином, присутність флавоноїдів агліконового характеру теоретично суттєво збільшує антиоксидантні властивості водно-спиртового екстракту вичавків винограду.

Наявність в екстрактах зазначених органічних сполук підтверджено аналізом рідкої фази екстрактів вичавків винограду методом ІЧ-спектроскопії (табл. 2). Відмінністю в ІЧ-спектрах є те, що у спектрі водно-ізопропанольного екстракту в діапазоні 1650–1637 cm^{-1} додатково присутні валентні коливання ($\text{C}=\text{O}$), характерні для групи флавонолів. Також проявляються у вигляді декількох інтенсивних смуг поглинання в діапазоні 1600–1470 cm^{-1} валентні коливання подвійних зв'язків. Тобто хімічний склад екстрактів, визначений на основі методу хромато-мас-спектрометрії, підтверджено ІЧ-спектроскопією.

Таблиця 2

Смуги поглинання (cm^{-1}) у ІЧ-спектрах екстрактів вичавків винограду

Смуги поглинання функціональних груп		Екстракт вичавків винограду	
		Ізопропанольний	Водно-ізопропанольний
δ_{OH} -деформаційні	1450-1250	1315 1378, 1275пл, 1229,	1300, 1360, 1270, 120
ν_{OH} -пов'язані Н зв'язком	3550-3200 2700-2500 (широка)	3345	3332
$\nu_{\text{C-H}}$ sp^3 , ν_{OCH_3}	2975-2810 (сильні)	2922, 2930, 2986пл, 2852	2870
$\delta_{\text{C-H}}$ sp^3	1470-1430 (середні) 1380-1370 (сильні)	1460 1376	1460, 14372
ν_{CHO} альдегіди (2 смуги)	2900-2820 (слабка) 2775-2700 (слабка)	2852	2850
$\delta(=\text{CH}_2)$ sp^2	1420-1410 995-985 915-905	950, 965пл.	952, 960 пл.
$\nu(\text{C}=\text{C})$	1680-1620 вузька	1630 пл.	1635 пл.
$\nu_{\text{C}=\text{O}}$ альдегіди	1750-1600	1742	1742
$\nu_{\text{C}=\text{O}}$ ароматич. альдегіди	1705-1660	1600, 1637	1610, 1642
$\nu_{\text{C}=\text{O}}$	1637 – 1650	-	1645
$\delta(\text{CH}_2)$	720-710	722	714
ν_{as} (CO)полугорні	1470-1430	1458	1456
ν_{as} (CC)	1580-1540	-	-
ν_{as} (CO)	1600-1570	1600	1601

Більшість ідентифікованих сполук у досліджуваних екстрактах мають свої специфічні властивості, які використовуються у процесі виготовлення косметичних продуктів. Так, встановлені альдегіди мають виражену ароматичну дію і широко використовуються в парфумерії [9–12]. Знайдені альдегіди (цитраль, капроальдегід, гептаналь, нональ, фенілацетальдегід, коричний альдегід) застосовуються для створення запашних композицій, оскільки кожен з них має свій характерний запах. Ідентифіковані альдегіди, зокрема ванілін, бузковий та енантовий альдегіди часто використовуються в парфумерній

промисловості для надання композиціям аромату мигдалю. Цитраль, що є сумішшю двох і більше ізомерів аліфатичних альдегідів, має лимонний запах [12]. Як антиоксиданти використовують катехін, бутаналь, лінолеву кислоту [2; 6]. У косметичній продукції з омолоджуючим ефектом застосовують 4-гідрокси-3-метоксибензальдегід та кварцетин [11]. Речовини з емульгаційними властивостями, такі як гептакозан, солі олеїнової кислоти та представники класу сапонінів, які присутні у вичавках, використовують для утворення стійких емульсій.

Як барвники використовують мальдівін, пеларгонін. Насичені та ненасичені жирні кислоти – це сполуки, які використовуються в декоративній косметиці, парфумерії, виробництві шампунів, туалетного мила, а також і в некосметичних продуктах, таких як побутові миючі засоби.

Слід відзначити, що ідентифіковані у водно-ізопропанольному екстракті флавоноїди є активними відносно радикалів, що виникають у ліпідній і водній фазі, і здатні пригнічувати процеси перекисного окислення ліпідів як на стадії ініціації, взаємодіючи з активними формами кисню, так і на стадії продовження ланцюга, виступаючи донорами атомів водню для ліпідних радикалів. Тобто під час створення пептидої косметики [10; 12], наявність флавоноїдів у складі засобів є необхідною складовою. Більша частина флавоноїдів мають хелатоутворюючу здатність з іонами металів змінної валентності і здатні, таким чином, пригнічувати процеси перекисного окиснення ліпідів на стадії розгалуження ланцюгів. Флавоноїди, що ідентифіковані у водно-спиртовому екстракті (кверцетин, кемпферол), можуть не тільки зв'язувати, але й відновлювати або окиснювати іони металів змінної валентності і, отже, стимулювати або пригнічувати вільнорадикальні процеси. Тобто вищезазначені характеристики хімічно активних компонентів виноградного вичавків здатні збагатити функціональні властивості косметичної продукції та підвищити термін її придатності.

В екстрактах також ідентифіковано (Нафталін-1-іл)(1-пентил-1H-індол-3-іл)метанон, що належить до анальгетиків сімейства 3-заміщених N-алкіл індолів і є цінною складовою для розробки косметичних засобів. Каріюфілен (1,5 %) – незамінний компонент для виготовлення парфумів, мила та інших косметичних засобів. Антимікробними властивостями характеризується монотерпеновий спирт α -терпінеол (10,5 %), який має запах бузку і є компонентом харчових есенцій.

Таким чином, водно-спиртовий екстракт вичавків винограду містить більш широкий ряд органічних сполук порівняно зі спиртовим. Найбільш цікавими для подальшого використання є альдегіди, насичені та ненасичені кислоти та фенольні сполуки, які є перспективними для створення різних видів продукції з високою біологічною активністю, а також парфумерно-косметичних засобів з антиоксидантними властивостями.

Висновки. Визначено якісний склад біологічно активних речовин в ізопропанольному та водно-ізопропанольному екстрактах вичавків винограду. Дослідження складу ізопропанольних вичавків винограду показало, що в ньому міститься близько 22 індивідуальних компонентів, серед яких домінують насичені та ненасичені альдегіди, жирні кислоти, а також терпенові сполуки. Для водно-спиртового екстракту характерна присутність додатково водорозчинних фенольних сполук. Найбільш цінними хімічними сполуками екстракту вичавків винограду є аліфатичні альдегіди та фенольні сполуки.

ІЧ-спектральний аналіз підтверджує наявність в екстрактах вичавків винограду сполук, встановлених мас-спектральним аналізом.

Проведені дослідження та аналіз науково-технічної літератури підтверджують можливість використання ізопропанольного та водно-ізопропанольного екстрактів вичавків винограду для створення косметичних засобів і продукції з високою біологічною цінністю.

Список використаних джерел

1. *Laura Rubi a*. Recent Advances in Biologically Active Compounds in Herbs and Spices: A Review of the Most Effective Antioxidant and Anti-Inflammatory Active Principles / Laura Rubi a, Maria-José Motilvaa, Maria-Paz Romeroa // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2013. – Vol. 53, Is. 9. – Pp. 943–953.

2. *Balboaa Elena M.* Potential of antioxidant extracts produced by aqueous processing of renewable resources for the formulation of cosmetics / M. Elena Balboaa, Daniele R. Nogueirac, Noelia González-López // *Industrial Crops and Products*. – 2014. – Vol. 58. – Pp. 104–110.

3. *Hegde, Sachet*. A Review of the Medicinal Properties, Phytochemical and Biological Active Compounds of *Tinospora sinensis* (Lour.) Merr. // *Journal of Biologically Active Products from Nature*. – 2016. – Vol. 6, Is. 9. – Pp. 84–94.

4. *Исследование* компонентного состава биологически активных соединений спиртового экстракта гребней винограда / В. И. Воробьева, Е. С. Чигиринец, В. Г. Ефимова, Т. Н. Пилипенко, В. А. Пичахчи // *Технічні науки та технології*. – 2016. – № 2 (4). – С. 189–195.

5. *Екстракція* рослинної сировини : навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, І. І. Губицька, Р. Т. Конечна, В. П. Новіков. – Львів. : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 336 с.

6. *Биологически* активные вещества винограда: классификация, фармакологические эффекты, лекарственные препараты и БАД на их основе / А. В. Ер мина, В. А. Попков, Е. А. Дегтярёва, В. Ю. Решетняк // *Натуротерапия и гомеопатия (Naturopathy and Homeopathy)*. – 2003. – № 4. – С. 27–30.

7. *Francisco J. Pérez*. Bioactive Gibberellins in seeded and seedless grapes: Identification and changes in content during berry development / Francisco J. Pérez, Camilo Viani, Julio Retamales // *American journal of enology and viticulture*. – 2000. – Vol. 51. – Pp. 315–318.

8. *Dorman H.J.D.* Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils / H.J.D. Dorman, S.G. Deans // *Journal of Applied Microbiology*. – 2000. – Vol. 88. – Pp. 308–316.

9. *Ben Arfa A.* Antimicrobial activity of carvacrol related to its chemical structure / Arfa A. Ben, S. Combes L. Preziosi-Belloy, N. Gontard, P. Chalier // *Lett. Appl. Microbiol.* – 2006. – Vol. 43, Is. 2. – Pp. 119–236.

10. *Chemical* composition and antibacterial activity of *Menthapulegium* L. and *Menthaspicata* L. essential oils / H. Boukhebti, A. NadjibChaker, H. Belhadj, F. M. Sahli Ramdhani, H. Laouer, D. Harzallah // *Der Pharm. Lett.* – 2011. – Vol. 3, №. 4. – Pp. 267–275.

11. *Anna Maria Papini*. Cosmetics toward peptide-based cosmeceutics / Anna Maria Papini // *Chimica Oggi-Chemistry Toda*. – 2010. – Vol. 8 (6). – Pp. 3–5.

12. *Rastogi Suresh C.* Menne Natural ingredients based cosmetics / C. Suresh Rastogi, D. Jeanne Johansen Torkil // *Contact Dermatitis*. – 1996. – Vol. 34. – Pp. 423–426.

References

1. *Laura Rubi a, Maria-José Motilvaa, Maria-Paz Romeroa* (2013). Recent Advances in Biologically Active Compounds in Herbs and Spices: A Review of the Most Effective Antioxidant and Anti-Inflammatory Active Principles. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 53, issue 9, pp. 943–953.

2. *Elena M. Balboaa, Daniele R. Nogueirac, Noelia González-López* (2014). Potential of antioxidant extracts produced by aqueous processing of renewable resources for the formulation of cosmetics. *Industrial Crops and Products*, vol. 58, pp 104–110.

3. *Hegde, Sachet. A.* (2016). Review of the Medicinal Properties, Phytochemical and Biological Active Compounds of *Tinospora sinensis* (Lour.) Merr. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, vol. 1, 6, issue 9, pp. 84–94.

4. *Vorobyova, V.I., Chygyrynets, E.E., Efimova, V.G., Pilipenko, T.N., Pichakhchi, V.A.* (2016). *Izuchenie* komponentnogo sostava biologicheskii aktivnyih soedineniy spirtovogo ekstrakta grebney vinograda [The research component composition of biologically active compounds alcoholic extract crest grapes]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi – Technical Sciences and Technologies*, no. 2 (4), pp. 189–195 (in Ukrainian).

5. Sydorov, Yu.I., Hubytska, I.I., Konechna, R.T., Novikov V.P. (2008). *Ekstraktsiia roslynnoi syrovyny [Extraction plant material]*. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» (in Ukrainian).
6. Eremina, A.V., Popkov, V.A., Degtiareva, E.A., Reshetniak, V.Iu. (2003). Biologicheski aktivnye veshchestva vinograda: klassifikatsiia, farmakologicheskie efekty, lekarstvennye preparaty i BAD na ikh osnove [Biologically active substances of grapes: classification, pharmacological effects, medications and dietary supplements based on them]. *Naturoterapiia i gomeopatiia – Naturoterapy and Homeopathy*, no. 4. pp. 27–30 (in Russian)
7. Francisco J. Pérez, Camilo Viani and Julio Retamales (2000). Bioactive Gibberellins in seeded and seedless grapes: Identification and changes in content during berry development. *American journal of enology and viticulture*, vol. 51, pp. 315–318.
8. Dorman H.J.D., Deans, S.G. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, vol. 88, pp. 308–316.
9. Ben Arfa A., Combes S., Preziosi-Belloy L, Gontard N., Chalier P. (2006). Antimicrobial activity of carvacrol related to its chemical structure, *Lett. Appl. Microbiol.*, vol. 43, issue 2, pp. 119–236.
10. Boukhebt H., NadjibChaker A., Belhadj H., Sahli F., Ramdhani M., Laouer H., Harzallah D. (2011). Chemical composition and antibacterial activity of Menthapulegium L. and Menthaspicata L. essential oils. *Der Pharm. Lett*, vol. 3, no. 4. pp. 267–275.
11. Anna Maria Papini (2010). Cosmetics toward peptide-based cosmeceutics. *Chimica Oggi-Chemistry Today*, vol. 8 (6), pp. 3–5.
12. Suresh C. Rastogi, Jeanne D. Johansen, Torkil (1996). Menne Natural ingredients based cosmetics. *Contact Dermatitis*, vol. 34, pp. 423–426.

Воробйова Вікторія Іванівна – кандидат технічних наук, асистент, асистент кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Воробьева Виктория Ивановна – кандидат технических наук, ассистент, ассистент кафедры физической химии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Vorobyova Victoria – PhD in Technical Science, Assistant, Assistant of Physical Chemistry Department, National Technical University of Ukraine National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: viktorkathebest@yandex.ru

Чигиринець Олена Едуардівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Чигиринец Елена Эдуардовна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой физической химии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Chygyrynets Olena – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Physical Chemistry, National Technical University of Ukraine National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: corrosionlife@yandex.ru

Шакун Анастасія Сергіївна – студентка, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Шакун Анастасия Сергеевна – студентка, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Shakun Anastasia – student, National Technical University of Ukraine National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine)

E-mail: shakun3@yandex.ua

Александр Буря, Ольга Набережная, Светлана Сучилина-Соколенко

ИК-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ САМОАРМИРОВАННЫХ ОРГАНОПЛАСТИКОВ

Олександр Буря, Ольга Набережна, Світлана Сучиліна-Соколенко

ІЧ-СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ САМОАРМОВАНИХ ОРГАНОПЛАСТИКІВ

Aleksandr Burya, Olga Naberezhnaya, Svetlana Suchylina-Sokolenko

IR-SPECTRAL ANALYSIS OF SELF-REINFORCED ORGANOPLASTIC MATERIALS

Исследованы структурные превращения на молекулярном уровне в органопластиках методом ИК-спектроскопии. Показано влияние размера и количества волокна на взаимодействие его с полимерной матрицей. Определены наиболее сильные межполимерные связи и оптимальное содержание волокна в связующем – 10 мас. %, длиной 3 мм.

Ключевые слова: полимерная матрица, органическое волокно, органопластик, ИК-спектры, межполимерное взаимодействие.

Табл.: 2. Рис.: 4. Библ.: 7.

Досліджено структурні перетворення на молекулярному рівні в органопластиках методом ІЧ-спектроскопії. Показано вплив розміру і кількості волокна на взаємодію його з полімерною матрицею. Визначено найбільш сильні міжполімерні зв'язки та оптимальний вміст волокна у в'язучому – 10 мас. %, довжиною 3 мм.

Ключові слова: полімерна матриця, органічне волокно, органопластик, ІЧ-спектри, міжполімерна взаємодія.

Табл.: 2. Рис.: 4. Бібл.: 7.

The structural transformations at the molecular level in organoplastics by IR spectroscopy. The influence of the size and amount of fiber to its interaction with the polymer matrix. Identified the strongest mezhpolimernye communication and optimal fiber content in the binder - 10 wt. %, 3 mm in length.

Key words: polymer matrix, organic fiber, organic plastics, IR spectra, interpolymer interaction.

Tabl.: 2. Fig.: 4. Bibl.: 7.

Постановка проблемы. В последнее время развитие промышленной техники неразрывно связано с созданием новых материалов, наиболее перспективными среди которых являются материалы на полимерной основе, что связано с их высокими эксплуатационными показателями, зачастую превосходящими металлы и сплавы на их основе, а также экономичностью и экологической чистотой. В связи с возрастающими требованиями к эксплуатационным показателям и надежности деталей и конструкций различного назначения необходимо создание все новых и новых материалов, обладающих уникальным сочетанием характеристик [1]. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию композитных материалов (КМ), свойства которых количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя и размером армирующих частиц, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств [2]. КМ, армированные органическими волокнами, – органопластики (ОП), где волокна, которые тем или иным способом распределяются в полимерной матрице, обладают высокими показателями физико-механических и триботехнических характеристик.

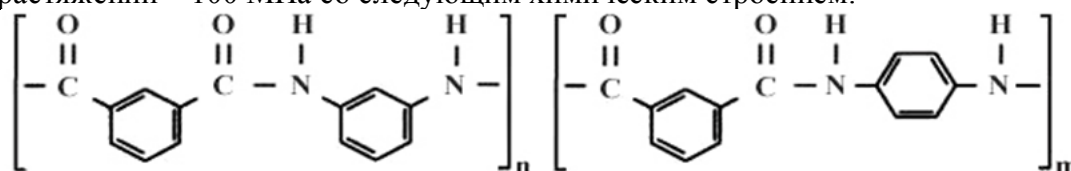
Анализ последних исследований и публикаций. Оценка характера связи между связующим и волокном является принципиально важной при изучении структурно-деформационных свойств. Существующие химические методы количественного анализа не позволяют определить содержание функциональных групп, связанных различными гидроксильными группами. Методы, основанные на выделении и анализе отдельных компонентов – наполнителей, дают только оценочную информацию [3]. Поэтому для изучения распределения функциональных групп в армированном ароматическом полиамиде перспективными являются спектральные методы. ИК-спектроскопия — один из наиболее плодотворных современных физических методов исследования межмолекулярного взаимодействия и химической связи с помощью колебательных спектров молекул [4].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В настоящей работе был использован метод инфракрасной спектроскопии для определения мод колебаний ИК-спектров, возникающих в результате химического взаимодействия между атомами полиамидной матрицы и органического волокна.

Цель работы. Необходимый этап таких исследований - интерпретация спектров, т. е. установление формы нормальных колебаний, распределения колебательной энергии по степеням свободы, выделение значимых параметров, определяющих положение полос в спектрах и их интенсивности.

В качестве объектов исследования были выбраны:

- полимерная матрица для органопластиков – ароматический полиамид фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), который представляет собой мелкодисперсный порошок с насыпной плотностью 0,2–0,3 г/см³ и удельной вязкостью 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5 % хлористого лития не менее 0,75, характеризующийся следующими свойствами: ударная вязкость – 20 кДж/м², твердость – 18 HRB, разрушающее напряжение при растяжении – 100 МПа со следующим химическим строением:



- армирующий компонент – органическое термостойкое волокно фенилон, с характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики волокна фенилон

Характеристика	Значение
Плотность, г/см ³	1,37–1,38
Толщина нити, текс	29 и 16,6
Прочность, гс/текс	45
Удлинение, %	15–20
Модуль упругости, ГПа	9–12
Относительная прочность, %	
в узле	90
в петле	95

Для получения КМ в емкость загружали навески порошкообразного фенилона и измельченного волокна, добавляли ферромагнитные частицы, изготовленных в виде цилиндров, диаметром 2 мм, длиной 15 мм. Емкость помещали во вращательное электромагнитное поле (0,12 Тл). Готовую смесь таблетировали при комнатной температуре и давлении 30 МПа. Таблетки загружали в пресс-форму, предварительно нагретую до 523 К, нагревали до 593-598 К и выдерживали при этой температуре 10 мин без давления и 10 мин под давлением 30 МПа. Для фиксации формы изделия охлаждали под давлением до температуры 523 К и дальше выталкивали из пресс-формы. Готовые изделия подвергали механической обработке, которая главным образом заключалась в зачистке изделий – удалении облоя. При необходимости с помощью различных методов обработки можно изменять форму изделий, повышать точность размеров.

Для осуществления ИК-спектрального анализа использовали ИК-спектрометр VERTEX 70 (Германия, фирма Bruker). Этот прибор открывает широчайшие возможности для решения сложных аналитических и исследовательских задач. Сбор данных осуществлялся с помощью двух 24-битных аналого-цифровых преобразователей, которые встроены в предусилитель детектора и работают параллельно. Передовая технология DigiTest предотвращает появление помех и обеспечивает высокое соотношение си-

гнал/шум. В спектрометр устанавлювали спрессованный порошок включающий 1 мг исследуемого вещества и 150 мг КВг (таблетка Ø13мм). Сканировали 16 раз и усредняли результат.

Результаты ИК-спектрального анализа и их интерпретация. ИК-спектры фенилона С-1 и волокна фенилон (рис. 1) различаются. В волокне фенилон есть первичные амино-группы, соединенные Н-связями. Амидные группы находятся в ассоциированной форме. Аналитические области: 1000 – 450 см⁻¹; 1700 – 1400 см⁻¹; 3550 – 2920 см⁻¹; 2850 – 1600 см⁻¹; 1200 – 1000 см⁻¹; 1000 – 450 см⁻¹; 3600 – 3000 см⁻¹; R₂ = [⊕]NH₂: ν(N-H)= 2700 – 2250 (с.ш.); ν(N-H)= 2000 (ср., может отсутствовать); R – NH₃[⊕]: ν(N-H)= 3000 (с.ш.); ν(N-H)= 2500(ср.); ν(N-H)= 2000(ср.); δ(N-H)= 1600 – 1575 (ср.) [5; 6; 7].

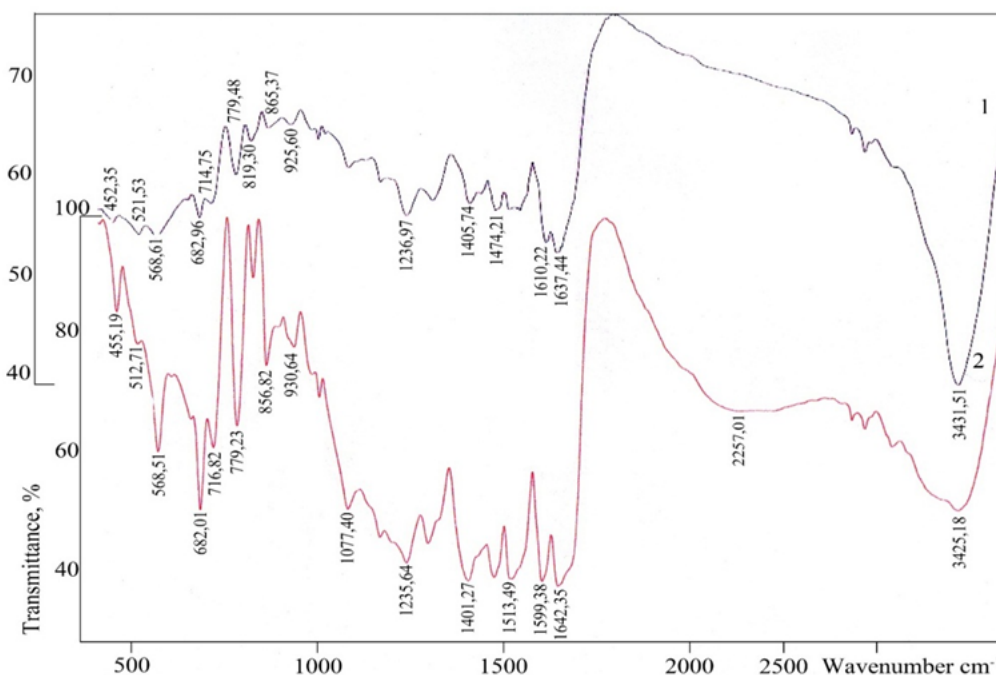


Рис. 1. ИК-спектры полимерного связующего фенилона С-1 и органического волокна фенилон

Таким образом, более реакционноспособным является волокно фенилон, содержащее:

- во-первых, ионные связи R – NH₃[⊕] и R – COO[⊖];

- во-вторых, системы кумулированных двойных, возможно: C = C = C, C = C = O,

–N = C = C, $\begin{matrix} O \\ \parallel \\ C \end{matrix}$, –N = C = O– связей, а также тройных связей по типу: –C ≡ C –, –C ≡ N, –[⊕]N ≡ C[⊖], N ≡ N[⊕] –;

- в-третьих, кето-енол-ениминные связи: $\begin{matrix} O \\ \parallel \\ -C = N - \\ | \\ O \end{matrix}$; $\begin{matrix} OH \\ | \\ -C = N - \end{matrix}$;

- в-четвертых, этерные и эстерные связи: $\begin{matrix} O \\ | \\ -C - N - \\ | \\ R \end{matrix}$, $\begin{matrix} O \\ \parallel \\ -C - O - CO - R \end{matrix}$ [5; 6; 7].

Поэтому, межцепные взаимодействия в КМ между волокном и пластиком на основе фенилона С-1 наиболее существенны со стороны волокна.

Количество и размер волокон наполнителя по отношению к матрице С-1 будет играть существенную роль. Аналитическое сравнение ИК-спектров волокна и КМ, содержащих 5 % волокна с различной длиной (1, мм) волокна фенилон и матрицы С-1 (рис. 2), представленной в табл. 2. Наибольший сдвиг ароматической полосы ν(C₆H₄)=1474,21см⁻¹ фенилона происходит в ИК-спектре при содержании 5 масс.% волокна длиной 1 мм (ν(C₆H₄)=1481,96 см⁻¹).

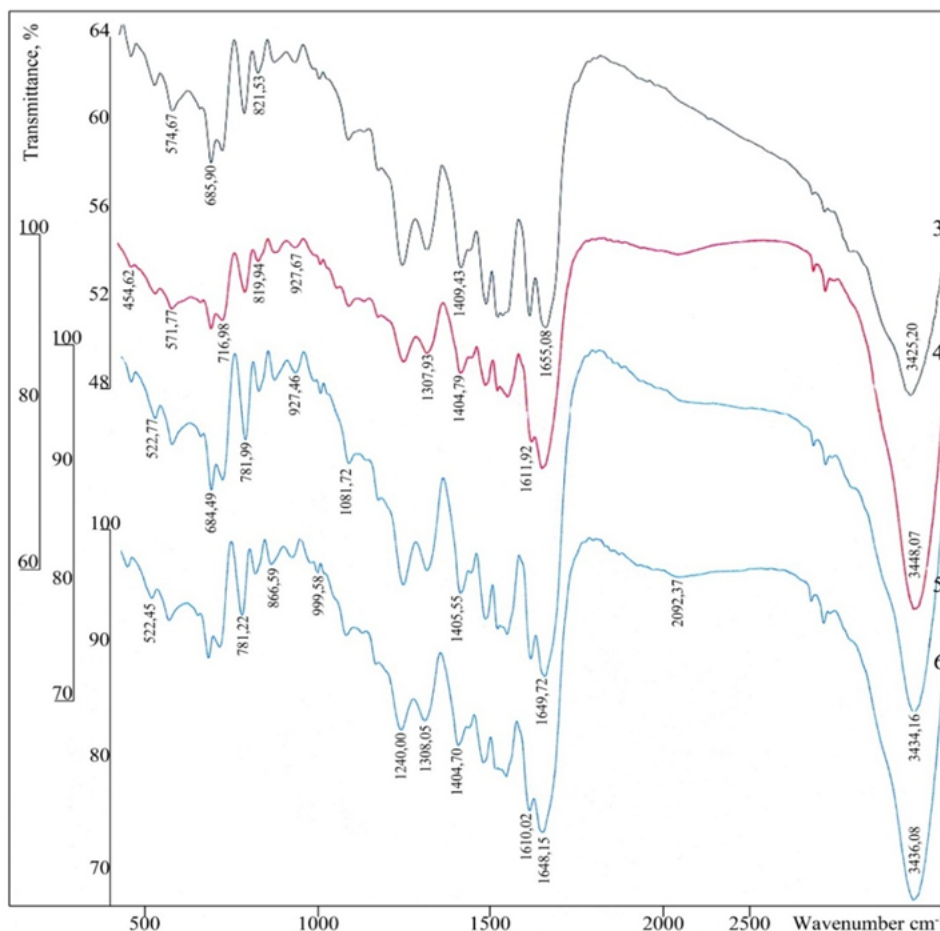


Рис. 2. ИК-спектры органопластиков, содержащих 5 мас.% волокна, длиной 1(3); 3(4); 5(5); 7(6) мм

Появление новых полос при $1300\text{--}1308\text{ см}^{-1}$ (от слабой до средней интенсивности), $1082,22\text{ см}^{-1}$ (средняя, узкая), $981,74$ и $999,58$ (очень слабых, узких) свидетельствует о наличии связи $\text{C} - \text{O}$ в спиртах, этерах, карбоксильных остатках (например, в эстерах), а также $\nu(\text{C} - \text{N})$ в аминах и амидах ($\nu=1300\text{--}1000\text{ см}^{-1}$).

При сравнении ИК-спектра с содержанием 5 % волокна и длиной 1 мм со спектрами чистого фенилона наблюдается следующее:

- полоса в области колебаний $\nu(\text{N-H})$ групп сдвигается в более ближнюю область по сравнению с фенилоном; причем она становится значительно шире. Эти изменения свидетельствуют о взаимодействии волокна с полиамидной матрицей – возникновении межполимерных водородных связей;

- появление новых $1514,99$ (с., шир.) и $1481,96$ (ср.) полос свидетельствует об освобождении амидных связей в волокне от своих внутри полимерных H -связей, так как эти колебания соответствуют полосе Амид II, а также о возможном химическом взаимодействии с возникновением межполимерных связей $\text{N}=\text{N}$ в транс- ($1481,96\text{ см}^{-1}$) и цис- ($1514,99\text{ см}^{-1}$) – формах;

- появление полос в области Амид II свидетельствует также об образовании новых амидных (межполимерных) связей, а интенсивность полосы при 1515 см^{-1} может служить критерием межполимерного взаимодействия между волокном и матрицей. Отсутствие широкой полосы в ИК-спектрах (рис. 2 (4, 5)) ОП с 5 % волокна ($l = 3$ и 5 мм) в области $2700\text{--}1650\text{ см}^{-1}$ дает основание заключить, что активные центры матрицы и волокна находятся в наибольшем взаимодействии вблизи «эвтектической» точки.

Наиболее полное взаимодействие по типу образования эфирных связей для ОП с содержанием волокна 5 мас. % и длиной 3 и 5 мм (рис. 2).

Таблица 2

ИК-спектры самоармированных пластиков на основе матрицы фенилона C-1 * и волокна фенилон

№ п/п, ИК-спектра	Содержание и длина волокна фенилон (масс.%; ω%; и l, мм)	Амидные полосы, см ⁻¹			Колебания N-H (ср.) см ⁻¹ в областях:		Колебания замещения в бензольном кольце		Примечания
		Амид I (с.) ν(C=O) 1650 см ⁻¹ - ассоц. форма. 1690 см ⁻¹ - свободная форма	Амид II (с.) δ(N-H)=1640 см ⁻¹ - ассоц. форма. 1600 см ⁻¹ - свободная форма	Амид III (ср.сл.) ν(C-N) 1420-1405 см ⁻¹ ? 1300-1250 см ⁻¹ ν(C=N)	Ближней 3500-2500 см ⁻¹ , ν(N-H)	Дальней 900-450 см ⁻¹ , δ(N-H)	1,3- замещен- ный (мета-) 810- 750 см ⁻¹ и 710- 690 см ⁻¹	1,4- замещенный (пара-) 840-810 см ⁻¹	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1637,44 (ср. ш.) ассоц. форма с плечом	1610,22 (ср. узк.) ассоц. форма	1405,74 (с.); 1236,97 (с.)	3431,51 (оч.с. узк.)	925,60 (оч.сл.); 865,37 (оч.сл.); 714,75 (оч.сл.); 568,61 (оч.сл.); 521,53 (оч.сл.); 452,35 (оч.сл.);	779,48(сл.); 682,96(сл.);	819,30 (сл.узк.);	ν= 1474,21 см ⁻¹ , 1292,84 см ⁻¹ ; свидетельствует о наличии сопряжений между бенз. кольцом и (C=N) - Амид III в 1,4-замещении, эстерные связи ν (C-O) = 1080,94 см ⁻¹ **
2	100	1642,35 (с.) ассоц. и своб. форма	1599,36 (с.) свободная форма	1401,27 (сл.); 1235,64 (сл.)	3425,18 (с.,ш.) в обл. 2750- 1650 см ⁻¹	930,64 (сл.); 856,82 (сл.); 716,82 (ср.); 568,5 (ср.); 512,71 (сл.); 455,19 (сл.);	779,23 (ср.,узк.); 682,01 (ср.,узк.);		1513,49 (с.) карбоксилат- амид; 1077,40 (с.); 2257,01 (ср.,ш.)*** - что свидетельствует о наличии кратных связей, наличии первых -NH ₃ ⁺ - групп в протонир. состоянии
3	5(l=1 мм)	1655,08 (с.)	1608,02 (с.узк.)	1409,43 (ср.)	3425,20 (оч.с.,шир)	574, 67 (сл.), дублет 685,90(ср.)	781,87(ср.) 685,90(ср.узк . дублет)	821,53(сл.)	Возникают межполимерные Н-связи по NH ₂ -группам в пара-замещении;** новые полосы
4	5(l=3 мм) *	1642,20 (ср. ш.) с плечом	1611,92 (ср.,узк)	1404,79(сл. узк.); 1240,63 (ср. узк.)	3448,07 (оч.с., узк.) нет широкой полосы в обл. 2750-1650 см ⁻¹	927,67 (оч.сл.); 868,48 (оч.сл.); 781,28 (оч.сл.); 716,98 (оч.сл.); 571,77 (оч.сл.); 523,85 (оч.сл.); 454,32 (оч.сл.)	781,26 (сл.,узк.); 684,34 (сл.,узк.);	819,94 (сл., узк.)	1307,93 см ⁻¹ (сл.узк.) нет широкой полосы в обл. 2700-1650 см ⁻¹
5	5(l=5 мм)	1649,72 (с.узк.) с плечом	1609,26 (ср. узк.)	1405,55 (ср.узк.); 1240,17 (ср.узк.)	3434,16 (оч.с.,узк.) нет широкой полосы в обл. 2750-1650 см ⁻¹	927,46 (сл.,узк.); 866,87 (сл.,узк.); 781,99 (сл.,узк.); 717,01 (сл.,узк.); 572,19 (сл.,узк.); 522,77 (сл.,узк.); 453,72 (сл.,узк.);	781,99 (сл.,узк.); 684,49 (сл.,узк.);		1308,26 см ⁻¹ (ср. узк.), новая полоса 1081,72 см ⁻¹ (оч.сл.узк.), нет широкой полосы в обл. 2700-1650 см ⁻¹
6	5(l=7 мм)	1648,15 (с.узк.)	1610,02 (ср.узк.)	1404,70 (ср.узк.); 1240,00 (ср.узк.)	3436,08 (оч.с.,узк.) 2092,37 (оч.с.,ш.) появляется шир. полоса 2065,35	927,24 (оч.сл.); 866,59 (оч.сл.); 716,67 (оч.сл.); 571,67 (оч.сл.); 522,45 (оч.сл.); 452,74 (оч.сл.);	781,22 (сл.,узк.); 684,15 (сл.,узк.)	820,67 (оч.сл, узк.)	Новые полосы: 1308,05 (ср.узк.), 981,74 (оч.сл.); 999,58 (оч.сл.); 1082,22 (сл.узк.); 2092,37 (оч.сл.ш.) см ⁻¹ ; появляется оч.сл. полоса в обл. 2750-1650 см ⁻¹

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	10(1=1 мм)	1640,13 (ср. узк.)	-	1406,33 (оч. сл. ш.); 1242,32 (оч. сл.)	3465,25 (оч. сл. ш.) 2852,38 (оч. сл.) 2921,76 дублет появл. ш. поло- са 2065,35	866,84(оч. сл.); 715,44(оч. сл.); обл. 670- 573,46 - сл. ш., с тонкой структурой	780,48(оч. сл.); 684,43(оч. сл.);	818,4(оч. сл., узк.)	1542,55(сл. ш.); 1477,42; 1436,03 см ⁻¹ (оч. сл. ш., - дублет); 1309,13 см ⁻¹ (оч. сл. ш.) появляется оч. сл. полоса в обл. 2750-1650 см ⁻¹
8	10(1=3 мм)	1639,71 (ср.)	1609,46 (ср.)	1405,67 (сл.)	3431,23 (оч. с.)	451,26 + 522,39 + 569,09 (шир. триплет)	779,87 (ср.); 683,24 (ср. узк.)	819,34 (сл.)	Новая полоса: 1510,97 см ⁻¹ (ср. шир.), более низкая интенсивность
9	10(1=5 мм)	1637,17 (ср.)	+ не идент.	+ не идент.	3434,63 (оч. с.)	570,68 (ср. шир.)	не идент.	не идент.	Спектр очень похож на спектр воло- кна. Сильные водородные связи. Гомогенизация по типу волокна
10	15(1=1 мм)	1647,49 (ср. ш.)	1607,21 (с. узк.)	1406,11 (с.)	3427,31 (оч. с. ш.)	571,20+451,86 (сл.) три- плет	780,19 (ср. узк.) 684,07 (ср. узк. дубл.)	819,92 (сл.)	Новые полосы: 1515,14 см ⁻¹ (ср. шир.) усиление 1236,23 см ⁻¹ (ср.)= $\nu(\text{C-N})$ в первичных аминах, <i>H</i> -связи межполимерные
11	15(1=3 мм)	1640,17 (ср. узк.)	-	1405,19 (оч. сл. узк.) 1242,02 (сл. ш.)	3465,04 (оч. с. ш.) 2065,77 (оч. сл. ш.)	930,28(оч. сл.); 876,36(оч. сл.); 819,31(оч. сл.); 716,11(оч. сл.); 573,35(оч. сл. ш. с тонкой структурой);	780,84(оч. сл.); 684,66 (оч. сл. узк.)	819,34 (оч. сл. узк.)	1542,79 (сл. ш.); 1478,99 (сл. ш.); 1310,07 (сл. ш.); 1081,10 (оч. сл. ш.); 1044,93 (оч. сл. ш.); 999,42 (оч. сл. узк.); 876,36 (оч. сл.); 2065,77 (оч. сл. ш) см ⁻¹ ; появляется ш. полоса в обл. 2750- 1650 см ⁻¹

* состав фенилона С-1(сополиамд): $\omega(\text{m-ФДА})=75\%$; $\omega(\text{n-ФДА})=25\%$; где m-ФДА- мета- фенилендиамин (1,3-замещение); n-ФДА- пара-фенилендиамин (1,4-замещение);

** наличие полос при 1474,21 и 1080,94 см⁻¹ свидетельствует о наличии таутомерных форм амидных групп и O сопряжений (II) в пареположении с бензольными кольцами (π, π - сопряжений);

*** свидетельствует о наличии: а) кумулированных двойных связей; б) тройных связей; в) енольных и ениминных структур; г) углекислого газа CO₂; д) карбоксилат-ионов.

Для других ОП отмечается появление широкой полосы в области $2750-1650\text{ см}^{-1}$ с тах от $2257,01$ (средняя) (рис. 1, чистое волокно) до $2065,77\text{ см}^{-1}$ (слабая) (рис. 3, 10 мас. % волокна) и $2089,94\text{ см}^{-1}$ (слабая) (рис. 4, 15 мас. % волокна), что вкладывается в колебания кумулированных двойных связей $C = C = C$; $C = C = O$; $-N = C = C$; $-N = C = O-CO_2$, причем для чистого волокна именно изоцианаты ($-N = C = O$) имеют наиболее близкий диапазон ($\nu(-N = C = O) = 2240-2275\text{ см}^{-1}$), а для ОП (рис. 4) – для «иммониевой полосы» ($\nu = 2200-1800$ (средняя)) [5; 6; 7]. Такой сдвиг тах широкой слабой полосы в ОП свидетельствует об изменении механизма взаимодействия между матрицей и волокном, причем уменьшается количество оксогрупп. Для ОП (рис. 3) с 10 мас.% волокна, длиной 3 мм - тах более выражен, поэтому надо предположить, что в этом случае, учитывая изменение механизма, взаимодействие между волокном и матрицей более сильное.

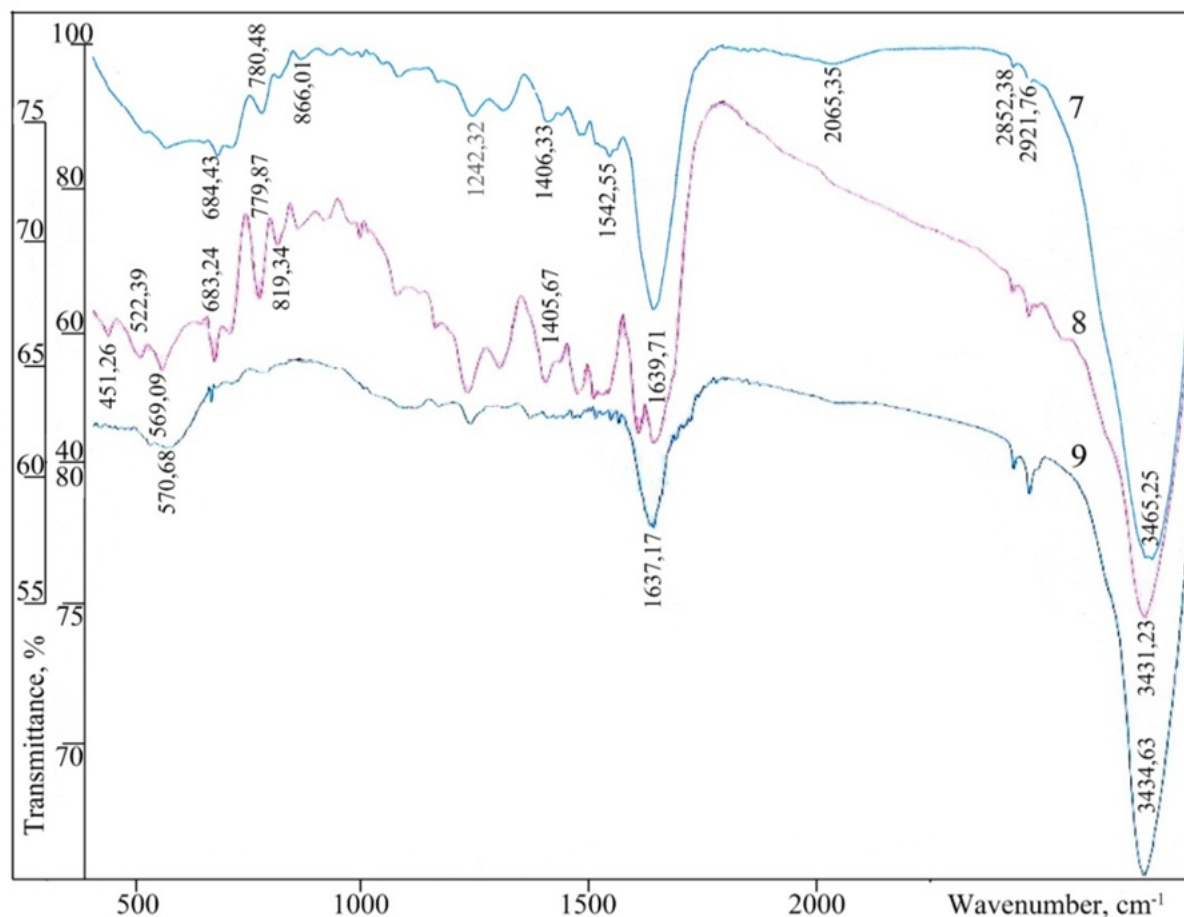


Рис. 3. ИК-спектры органопластиков, содержащих 10 мас. % волокна, длиной 1(7); 3(8); 5 (9) мм

Со стороны волокна фенилон наиболее сильное взаимодействие, включая образование как сложноэфирных связей, так и иминиевых катионов, наблюдается для образца (рис. 3), содержащего 10 мас. % волокна, длиной 3 мм.

Кроме того, нельзя в волокне исключить и наличие тройных связей типа $-C \equiv C -$; $-C \equiv N$; $-N \equiv C$; $N \equiv N$; валентные колебания, которые проявляются при $\nu = 2400-2100\text{ см}^{-1}$.

А ИК-спектр органопластика, содержащего 10 мас. % волокна, длиной 5 мм, подобен спектру чистого волокна. Наиболее высокая интенсивность полосы 1515 см^{-1} наблюдается в ИК спектре органопластика, содержащего 15 мас. % волокна, длиной 5 мм.

ИК-спектры ОП, содержащего 5, 10, 15 мас. % волокна, отличаются незначительно (рис. 2-4). Сравнение ИК-спектров чистого С-1 (рис. 1) и ОП (рис. 2-4) показывает, что со стороны матрицы наблюдается:

- разрушение *H*-связей;
- уменьшение количества *NH*₂ и *N-H* групп, особенно, в 1,3-замещении (мета);
- изменение π, π -сопряжения;
- уменьшение количества ассоциированных оксо-групп;
- возникают новые *H*-связи [5; 6; 7].

Наименьшее взаимодействие между матрицей и волокном наблюдается в ОП, содержащих 5 мас. % волокна, длиной 5 и 7 мм (рис. 2 (5, 6)), а наибольшее взаимодействие в ОП с содержанием 10 мас. % волокна, длиной 1 и 3 мм (рис. 3 (7, 8)).

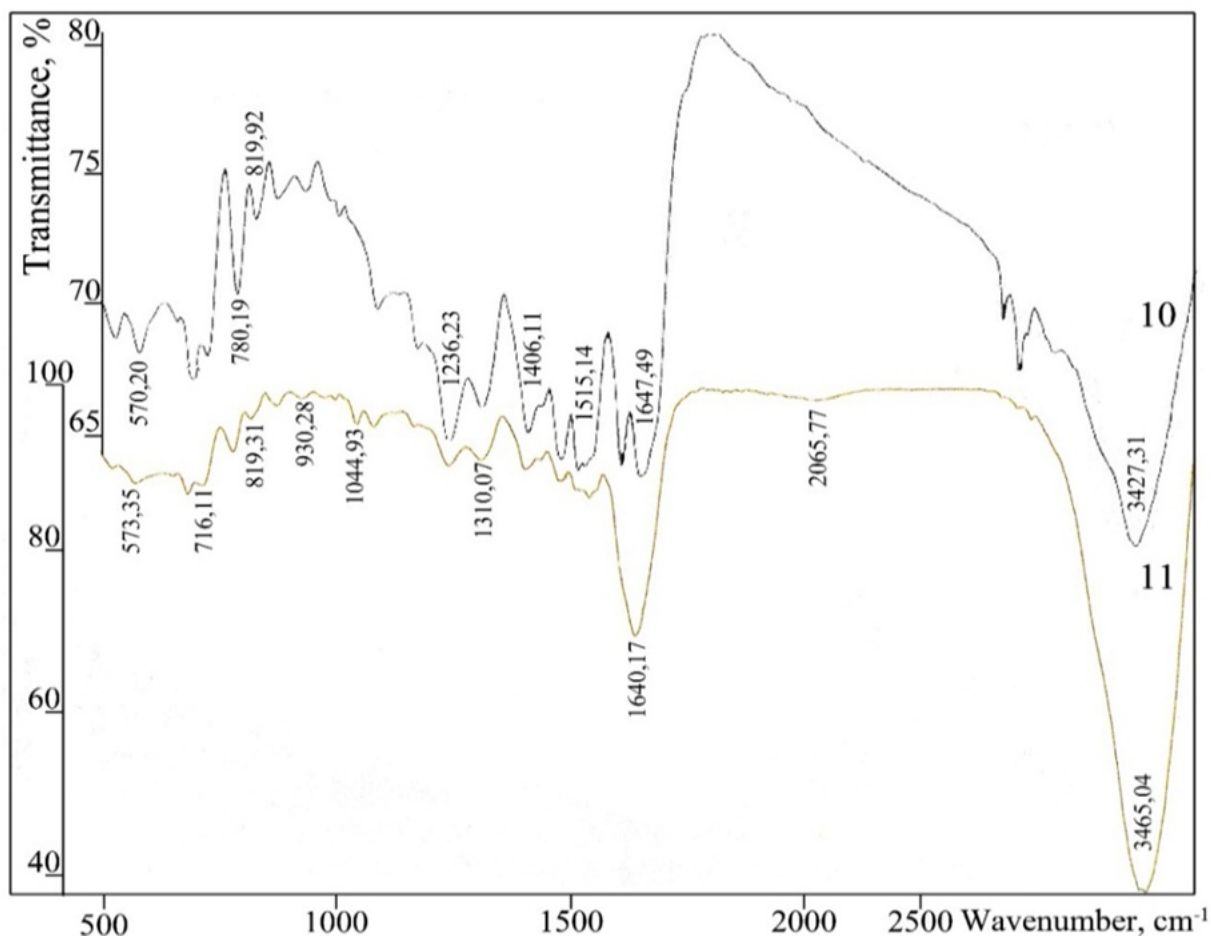


Рис. 4. ИК-спектры органопластиков, содержащих 15 мас. % волокна, длиной 5 (10); 7 (11) мм

Выводы.

1. ИК-спектры (химическое строение) матрицы фенилона С-1 и волокна фенилон – различны: волокно несет больше реакционноспособных центров ионов COO^- , $-\text{NH}_3^+$; $= \text{NH}_2^+$; эфирных, ениминных, енольных групп; кумулированных двойных связей, возможно тройных связей; матрица С-1 несет больше водородных связей, π, π -сопряжения электронных блоков, концевых первичных аминогрупп.

2. В самоармированных пластиках происходит межполимерное взаимодействие между волокном и матрицей зависящее от длины волокна и его массового содержания. Количество, размер волокон влияют на механизм взаимодействия.

Взаимодействие это связано:

- во-первых, с разрушением водородных связей в волокне и матрице;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

– во-вторых, с образованием новых (межполимерных) H -связей, амидных связей или $N=N$ -связей;

– в-третьих, с изменением протяженности сопряженного электронного облака вдоль молекул и волокна, и матрицы в местах 1,4-замещения в бензольных кольцах и образованием единого π -облака (межполимерного).

3. Наименьшее взаимодействие со стороны матрицы наблюдается в ОП содержащих 5 мас. % волокна, длиной 5 и 7 мм, наибольшее в ОП содержащих 10 мас.% волокна, длиной 1 и 3 мм, включая различные механизмы.

4. Наибольшее взаимодействие как со стороны волокна, так и со стороны матрицы наблюдается в ОП содержащих 10 мас. % волокна, длиной 3 мм, вне зависимости от механизма взаимодействий. При этом в матрице разрушаются старые водородные связи, образуются новые H -связи, а также в образовании межполимерных связей участвуют первичные NH_2 -концевые группы и оксогруппы амидных групп.

Список использованных источников

1. Ющенко Д. А. Перспективы применения полимерных композиционных материалов / Д. А. Ющенко, Е. М. Кузнецова // Механика XXI века. – 2015. – № 14. – С 194–195.

2. Карпова Е. В. Определение содержания карбоксиметильных групп в карбоксиметилированной древесине методом ИК-спектроскопии / Е. В. Карпова, Н. Г. Базарнова, В. И. Маматиук // Химия растительного сырья. – 2002. – № 2. – С. 33–38.

3. Влияние технологии совмещения на свойства полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и флогопита / М. М. Макаров, С. А. Слепцова, Л. В. Москвитина, Ю. В. Капитонова // Вестник СВФУ. – 2016. – № 2 (52). – С. 76–86.

4. Инфракрасные спектры аморфных нанокompозитов и их межатомные взаимодействия / А. В. Щекочихин, Э. П. Домашевская, С. И. Карпов, О. В. Стогней // Конденсированные среды и межфазные границы – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 78–83.

5. Коршак В. В. Термостойкие полимеры / В. В. Коршак ; АН СССР, Ин-т элементоорганических соединений. – М. : Наука, 1969. – 411 с.

6. Термостойкие ароматические полиамиды / Л. Б. Соколов, В. Д. Герасимов, В. М. Савинов, В. К. Беляков. – М. : Химия, 1975. – 256 с.

7. Беллами Л. Дж. Инфракрасные спектры сложных молекул / Л. Дж. Беллами ; пер. с англ. под ред. Ю. А. Пентина. – М. : Изд-во Иностранной литературы, 1963. – 592 с.

References

1. Iushchenkova, D.A. & Kuznetsova, E.M. (2015). Perspektivy primeneniia polimernykh kompozitsionnykh materialov [Prospects of application of polymeric composite materials]. *Mekhaniki XXI veka – Mechanics XXI century*, no. 14, pp. 194–195 (in Russia).

2. Karpova, E.V., Bazarnova, N.G. & Mamatiuk, V.I. (2002). Opredelenie soderzhaniia karboksimetilnykh grupp v karboksimetilirovannoi drevesine metodom IK-spektroskopii [Determination of carboxymethyl groups in carboxymethyl timber by IR spectroscopy]. *Khimiia rastitel'nogo syria – Chemistry of plant raw materials*, no. 2, pp. 33–38 (in Russia).

3. Makarov, M.M., Sleptsova, S.A., Moskvitina, L.V. & Kapitonova, Iu.V. (2016). Vliianie tekhnologii sovmeshcheniia na svoistva polimernykh kompozitov na osnove politetraforetilena i flogopita [Impact of Combining Technologies on the Structure and Properties of Composites Based on Polytetrafluoroethylene and Phlogopite]. *Vestnik SVFU – Vestnik of NEFU*, no. 2 (52), pp. 76–86 (in Russia).

4. Shechekochikhin, A.V., Domashevskaiia, E.P., Karpov, S.I. & Stognei, O.V. (2009). Infkrasnye spektry amorfnykh nanokompозитов i ikh mezhatomnye vzaimodeistviia [Infrared spectrums in amorphous nanocomposites and interatomic interaction]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy – Condensed matter and interphases*, vol. 11, no. 1, pp. 78–83 (in Russia).

5. Korshak, V.V. (1969). *Termostoikiie polimery [Heat resistant polymers]*. Moscow: Nauka (in Russia).

6. Sokolov, L.B., Gerasimov, V.D., Savinov, V.M., Belyakov, V.K. (1975). *Termostoikiie aromatischeeskie poliamidy [Heat resistant aromatic polyamides]*. Moscow: Khimiia (in Russia).

7. Bellami, L.Dzh. (1963). *Infrakrasnye spektry slozhnykh molekul [The infrared spectra of complex molecules]* (Pentina Iu.A., Trans.). Moscow: Izdatelstvo Inostrannoi literatury (in Russia).

Буря Александр Иванович – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры физики конденсированного состояния, Днепродзержинский государственный технический университет (ул. Днепростроевская, 2, г. Камянское, 51918, Украина).

Буря Олександр Іванович – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри фізики конденсованого стану, Дніпродзержинський державний технічний університет (вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

Burya Aleksandr – PhD in Technical Sciences, Professor, Professor of Department of the Condensed Matter Physics, Dneprodzerzhinsk State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

E-mail: ol.burya@gmail.com

Набережная Ольга Александровна – аспирант, младший научный сотрудник кафедры физики конденсированного состояния, Днепродзержинский государственный технический университет (ул. Днепростроевская, 2, г. Камянское, 51918, Украина).

Набережна Ольга Олександрівна – аспірант, молодший науковий співробітник кафедри фізики конденсованого стану, Дніпродзержинський державний технічний університет (вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

Naberezhnaya Olga – Phd student, Junior Researcher of Department of the Condensed Matter Physics, Dneprodzerzhinsk State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

E-mail: olckina@inbox.ru

Сучилина-Соколенко Светлана Петровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории композитных материалов Днепропетровского государственного технического университета (ул. Днепростроевская, 2, г. Камянское, 51918, Украина).

Сучилина-Соколенко Світлана Петрівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник лабораторії композитних матеріалів, Дніпровський державний технічний університет (вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

Suchylina-Sokolenko Svetlana – PhD in Chemical Sciences, Senior Researcher Laboratory of Composite Materials, Dniprovskiy State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

E-mail: radis14@ukr.net

Оксана Жулінська, Карина Свідло

ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Оксана Жулинская, Карина Свидло

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Oksana Zhulinska, Karyna Svidlo

ASSESSMENT OF THE QUALITY AND SAFETY OF FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS USING MATHEMATICAL MODELS

Процеси, що впливають на якість функціональної харчової продукції, мають різну природу, тобто їх показники якості різні, і вони мають різні шкали оцінювання, але на сьогодні не існує єдиної методики їх оцінювання, крім цього, різноманітність математичних методів вимагає глибокого наукового дослідження в частині оптимальності та ефективності. Аналіз наукової літератури показав, що існуючі математичні моделі (функції бажаності) дозволяють оцінювати якість продукції і процесів різної природи, але не розроблено дієвого математичного методу для визначення комплексного показника якості продукції функціонального призначення для застосування на виробництві.

Роботу присвячено застосуванню математичного методу для визначення якості продукції функціонального призначення, у вигляді суміші розподілу найбільшого та найменшого значень випадкових величин, а також знайдено числові характеристики цієї суміші – це математичне сподівання, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, центральний момент третього порядку, центральний момент четвертого порядку, коефіцієнт асиметрії та коефіцієнт ексцесу.

Ключові слова: функціональні харчові продукти, управління якістю та безпечністю, математичний метод, математичне сподівання, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, центральний момент третього порядку, центральний момент четвертого порядку, коефіцієнт асиметрії та коефіцієнт ексцесу.

Бібл.: 12.

Процессы, влияющие на качество функциональной пищевой продукции, имеют различную природу, то есть их показатели качества разные, и они имеют различные шкалы оценивания. На сегодняшний день не существует единой методики их оценки, кроме этого, разнообразие математических методов требует глубокого научного исследования оптимальности и эффективности. Анализ научной литературы показал, что существующие математические модели (функции желательности) позволяют оценивать качество продукции и процессов различной природы, но не разработан действенный математический метод для определения комплексного показателя качества продукции функционального назначения на производстве.

Работа посвящена применению математического метода для определения качества продукции функционального назначения, в виде смеси распределения наибольшего и наименьшего значений случайных величин. Найдены числовые характеристики данной смеси – это математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратичное отклонение, центральный момент третьего порядка, центральный момент четвертого порядка, коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса.

Ключевые слова: функциональные пищевые продукты, управление качеством и безопасностью, математический метод, математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратичное отклонение, центральный момент третьего порядка, центральный момент четвертого порядка, коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса.

Библ.: 12.

Processes affecting the quality of the functional food products are of different nature, that is, their quality indicators are different and they have different grading scale. To date, there is no single methodology for their evaluation, besides the variety of mathematical techniques requires in-depth scientific studies of optimality and efficiency. Analysis of scientific literature showed that existing mathematical models (desirability function) allow evaluating the quality of the products and processes of different nature, but to define a complex indicator of quality of the products functional purpose in the manufacture has not been developed an effective mathematical method.

The work is devoted to application of mathematical methods to determine the quality of the products functionality, in the form of a mixture distribution of maximum and minimum values of random variables. Found a number of characteristics of this mixture is a mathematical expectation, dispersion, average quadratic deviation, the Central moment of third order, Central moment of fourth order, the coefficient of skewness and coefficient of kurtosis.

Key words: functional foods, quality control and safety, mathematical method, mathematical expectation, dispersion, average quadratic deviation, the Central moment of third order, Central moment of fourth order, the coefficient of skewness and coefficient of kurtosis.

Bibl.: 12.

Постановка проблеми. Важливим фактором сучасної конкурентоспроможної продукції, особливо функціональної, є управління якістю та безпечністю харчових продуктів [1]. Системи управління безпечністю харчових продуктів застосовують практично в усьому світі як надійний захист споживачів. Впровадження систем управління безпеч-

ністю харчових продуктів вимагає законодавство Європейського Союзу, США, Канади, Японії, Нової Зеландії та багатьох інших країн світу [2].

Визначення функціональності продукту встановлюється за вмістом того чи іншого компонента, що надає позитивний вплив на організм людини. Сьогодні українське законодавство не вимагає від виробників проведення клінічних досліджень і наукового підтвердження функціональності продукту; не регламентує правила маркування і реалізації споживачам функціональних харчових продуктів (ФХП) [3].

Таким чином, можна констатувати, що проблема якості і безпечності ФХП реально існує. Її вирішення має комплексний характер, потребує врахування галузевих особливостей формування якості на всіх етапах виробництва сільськогосподарської продукції, її перероблення, зберігання, транспортування і реалізації готової продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукової літератури показав, що існуючі математичні моделі (функції бажаності) дозволяють оцінювати якість продукції і процесів різної природи, застосовувати їх числові характеристики, які допомагають отримати їх інтервальні показники якості [4; 5]. Для оцінювання якості виробів використовують функцію бажаності Е. К. Харінгтона. Саме ця функція має багато переваг. У роботах [4; 5; 6] як функцію для переведення різнорозмірних показників якості в безрозмірну величину використовували функцію бажаності, яка відома як функція Харінгтона, що має подвійний експоненціальний вигляд і має певні особливостей, які приваблювали дослідників до практичного її застосування [7]. Очевидно, що логістичну функцію бажаності Е. К. Харінгтона [7] можна застосовувати як вибірку, що проведена із найбільших значень. Тому оцінка якості виробу має бути заниженою, оскільки використовується перший тип асимптотичного нормалізованого розподілу максимуму [8]. Будь-який функціональний харчовий продукт має показники, які оцінюються в різних шкалах. Все це завдає труднощів в одержанні загальної якісної оцінки якості виробу. Тому для одержання загальної оцінки якості виробу виникла потреба нормалізувати результати експерименту.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З метою підвищення якості і безпечності продуктів харчування необхідне подальше вдосконалення нормативно-правової бази, яка регулює питання параметрів якості та безпечності ФХП; продовження гармонізації міжнародних стандартів, особливо на методі контролю показників якості і безпеки продукції; забезпечення відповідності технічних умов чинним законодавчим нормам та стандартам; врахування показників якості та безпечності харчових продуктів при обґрунтуванні системи індикаторів продовольчої безпеки [4]. Таким чином, до чинного законодавства ФХП потрібно внести нормативні параметри якості та безпеки, а також норми, які б зобов'язували виробників відповідно маркувати харчові продукти, що мають статус функціональних.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є побудова більш точної (узагальненої) моделі оцінювання показників якості ФХП. Визначення числових характеристик моделі. Аналіз цієї моделі і порівняння з попередніми оцінками якості. Побудова методики оцінки якості ФХП із застосуванням афінних перетворень, яка може бути застосована при будь-якому ідеальному значенні. Застосування цієї методики надає ФХП найбільш точні показники якості за результатами вибірки.

Виклад основного матеріалу. В роботі [5] пропонується оцінювати показники якості виробів, які мають різні розмірності з їх оцінками на безрозмірній шкалі, при цьому пропонується використовувати порядкові статистики екстремальних значень. Тобто ці оцінки мають враховувати мінімально допустиме значення показника якості процесу та максимально допустиме значення показника його якості. Але оцінка якості показника використовується для будь-яких симетричних розподілів. Вона застосовує перший тип асимптотичного нормалізованого розподілу мінімуму (функція 1) та максимуму (функ-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ція 2) [9] та їх суміш (функція 3). Для оцінки показника якості у третій функції значення параметра $p = 0,5$.

$$\Phi_1^*(x) = 1 - \exp(-\exp(y)) \quad (-\infty < y < \infty). \quad (1)$$

$$\Phi_1(x) = \exp(-\exp(-y)) \quad (-\infty < y < \infty). \quad (2)$$

$$K_j = p \cdot \exp(-\exp(-y)) + (1-p) \cdot (1 - \exp(-\exp(y))), \quad (3)$$

де $0 \leq p \leq 1$.

Приймемо, що якість показника підпорядковується закону розподілу (3). Вважаємо, що допуск на показник якості є відомим, тобто є як завищене, так і занижене значення показника якості виробу. Отже, істинне значення знаходиться в інтервалі якості цього показника.

Оскільки щільність розподілу є похідною від функції розподілу (3), то ця функція розподілу випадкової величини Y має щільність розподілу (функція 4):

$$f(y) = p \cdot \exp(-y - e^{-y}) + (1-p) \cdot \exp(y - e^y). \quad (4)$$

Визначимо числові характеристики моделі (4). Для цього знайдемо такі числові характеристики моделі (4), як моду, медіану, математичне очікування, дисперсію та центральні моменти випадкової величини Y .

Оскільки функції (1) і (2) мають симетричні відносно нуля числові характеристики, то достатньо знайти числові характеристики функції (2). Функція щільності функції розподілу (2) має вигляд:

$$f(y) = \exp(-y) \cdot \exp(-\exp(-y)). \quad (5)$$

Знайдемо моду моделі (5). Для цього знайдемо похідну функції щільності (5) та прирівняємо її до нуля:

$$f'(y) = \exp(-y) \cdot \exp(-\exp(-y)) \cdot [\exp(-y) - 1]. \quad (6)$$

Звідси одержимо, що $f'(y) = 0$ при $y = 0$, тобто мода для цієї моделі (5) $Mo[Y] = 0$.

Для визначення медіани прирівняємо функцію розподілу (5) до 0,5. Маємо розв'язок рівняння:

$$\exp(-\exp(-y)) = 0,5, \quad (7)$$

яке дає медіанне значення моделі (4) $Me[Y] = -\ln(\ln 2)$.

Визначимо математичне очікування моделі (5), обчислюючи інтеграл:

$$\int_{-\infty}^{\infty} y \cdot \exp(-y) \cdot \exp(-\exp(-y)) dy. \quad (8)$$

Цей інтеграл обчислюється за допомогою заміни $z = \exp(-y)$. Результат обчислення цього інтеграла дає $M[Y] = \gamma$, де γ – константа Ейлера, $\gamma = 0,5772$. Тут застосована відома формула [11]:

$$\gamma = -\int_0^{\infty} e^{-z} \ln z dz. \quad (9)$$

Для обчислення дисперсії випадкової величини Y моделі (4) використана формула:

$$D(Y) = M(Y^2) - [M(Y)]^2. \quad (10)$$

Математичне очікування випадкової величини Y^2 моделі (4) визначається за формулою:

$$M(Y^2) = \int_{-\infty}^{\infty} y^2 \cdot \exp(-y) \cdot \exp(-\exp(-y)) dy. \quad (11)$$

Цей інтеграл обчислюється за допомогою заміни $z = \exp(-y)$. Звідси $D(Y) = \pi^2 / 6$.

Аналогічно обчислюються початкові моменти моделі (4). Початковий момент третього порядку:

$$M(Y^3) = \int_{-\infty}^{\infty} y^3 \cdot \exp(-y) \cdot \exp(-\exp(-y)) dy = 2\zeta(3) + \pi^2\gamma / 2 + \gamma^3, \quad (12)$$

де $\zeta(3)$ – дзета функція Рімана в точці 3. $\zeta(3) \approx 1,202057$.

Центральний момент третього порядку визначається за формулою:

$$\mu_3 = M(Y^3) - 3M(Y^2)M(Y) + 2[M(Y)]^3. \quad (13)$$

Для моделі (4) він має вигляд:

$$\mu_3 = 2\zeta(3). \quad (14)$$

Центральний момент четвертого порядку визначається за формулою:

$$\mu_4 = M(Y^4) - 4M(Y^3)M(Y) + 6M(Y^2)[M(Y)]^2 - 3[M(Y)]^4. \quad (15)$$

Тоді для моделі (4) він має вигляд:

$$\mu_4 = 3\pi^4 / 20. \quad (16)$$

Оскільки функція моделі (5) має симетричну функцію $f(y) = \exp(y - e^y)$, то звідси впливає, що для цієї функції $Mo[Y] = 0$, $Me[Y] = -\ln(\ln 2)$, $M[Y] = -\gamma$, $D(Y) = \pi^2 / 6$, $\mu_3 = -2\zeta(3)$ та $\mu_4 = 3\pi^4 / 20$.

Знайдемо числові характеристики моделі (4), використовуючи властивості інтегрального і диференційного числення, теорії ймовірностей і математичної статистики. Із одержаних числових характеристик, користуючись вищезгаданими властивостями, одержуємо числові характеристики моделі (4): $Mo[Y] = 0$, яка не залежить від вагового коефіцієнта p .

Математичне очікування випадкової величини Y моделі (5) має вигляд:

$$M[Y] = (2p - 1) \cdot \gamma. \quad (17)$$

Із властивостей дисперсії суми незалежних випадкових величин маємо, що дисперсія випадкової величини Y моделі (4) визначається за формулою:

$$D(Y) = \pi^2 / 6 + 4\gamma^2 p(1 - p). \quad (18)$$

Максимум дисперсії $D(Y)$ досягається при значенні $p = 0,5$, що свідчить про велику помилку, яка є при значенні $p = 0,5$. Вибір усередненого значення з двох асимптотичних розподілів крайніх значень дає велику помилку. Тому вибір суміші цих двох розподілів зменшить помилку і в оцінці показників якості, і в оцінці якості виробу.

Із одержаного значення $D(Y)$ визначимо середнє квадратичне відхилення випадкової величини Y моделі (4) $\sigma(Y) = \sqrt{D(Y)}$.

$$\sigma(Y) = \frac{\sqrt{144p\gamma^2 + 6\pi^2 - 144p^2\gamma^2}}{6}. \quad (19)$$

Центральний момент третього порядку для моделі (4) має вигляд:

$$\mu_3 = 2\zeta(3)(2p - 1) + 8p\gamma^3(1 + 2p^2 - 3p). \quad (20)$$

Центральний момент четвертого порядку μ_4 для моделі (4) має вигляд:

$$\mu_4 = \frac{3\pi^4}{20} + 4(8p\zeta(3) + \pi^2\gamma)(1 - p)\gamma + 16p^2\gamma^4(6p - 3p^2 - 4). \quad (21)$$

Коефіцієнт асиметрії As будь-якої моделі визначається формулою: $As = \mu_3 / \sigma^3(Y)$. Для моделі (4) цей коефіцієнт знаходять за формулою:

$$As = \frac{72(2p\zeta(3) + 4p\gamma^3 - \zeta(3) + 8p^3\gamma^3 - 12p^2\gamma^3)}{(24p\gamma^2 + \pi^2 - 24p^2\gamma^2)\sqrt{144p\gamma^2 + 6\pi^2 - 144p^2\gamma^2}}. \quad (22)$$

Коефіцієнт ексцесу Es будь-якої моделі визначається формулою $Es = \mu_4 / D^2(Y)$. Для моделі (4) цей коефіцієнт знаходять за формулою:

$$Es = \frac{9}{5}(3\pi^4 + 320p\gamma^4 + 640p\zeta(3)\gamma + 80p\pi^2\gamma^2 - 640p^2\zeta(3)\gamma - 80p^2\pi^2\gamma^2 - 1280p^2\gamma^4 - 960p^4\gamma^4 + 1920p^3\gamma^4) / (24p\gamma^2 + \pi^2 - 24p^2\gamma^2)^2. \quad (23)$$

Знайдемо оцінки вагових коефіцієнтів p за результатами вибірки об'єму n . За великою вибіркою об'єму n показників якості величину частки p можна знайти, застосовуючи метод найменших квадратів [10] до відомої моделі (4). Для оцінки параметра p маємо на увазі, що дана функцією розподілу $F(y)$. В цьому випадку параметр p має вигляд:

$$p = \frac{l + \sum_{i=1}^n F(y_i)V_i + \sum_{i=1}^n V_iW_i + \sum_{i=1}^n F(y_i)W_i + \sum_{i=1}^n V_i^2 - 2\sum_{i=1}^n V_i - \sum_{i=1}^n W_i - \sum_{i=1}^n F(y_i)}{l + 2\sum_{i=1}^n V_iW_i - 2\sum_{i=1}^n V_i - 2\sum_{i=1}^n W_i + \sum_{i=1}^n V_i^2 + \sum_{i=1}^n W_i^2}, \quad (24)$$

де $V_i = \exp(-\exp(y_i))$, $W_i = \exp(-\exp(-y_i))$ та емпірична оцінка функції розподілу в точці y_i ($1 \leq i \leq n$) з незміщеною оцінкою теоретичної $F(y)$ в точці y_i

$$F(y_i) = \sum_{i=1}^n I(y, y_i) / n, \quad (25)$$

де $I(y, y_i)$ – одинична сходова функція зі стрибком у точці $y = y_i$, чи зміщеною оцінкою теоретичної $F(y)$ в точці y_i

$$F(y_i) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n I(y, y_i). \quad (26)$$

Оцінка параметра p не може бути знайдена за методом максимальної правдоподібності [10], оскільки модель (4) являє собою лінійну комбінацію відносно параметра p .

Знайдемо оцінку параметра p методом моментів [10]. Математичне очікування для моделі (4) визначається за формулою (17). Тоді, прирівнюючи математичне очікування $M(Y)$ до вибіркового середнього нормованих значень $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n$, будемо мати рівняння з одним невідомим p .

$$\bar{y} = (2p - 1) \cdot \gamma. \quad (27)$$

Розв'язуючи рівняння (27) відносно p будемо мати оцінку параметра p .

$$\tilde{p} = \frac{\bar{y} + \gamma}{2\gamma}. \quad (28)$$

Для оцінки параметра p достатньо трьох експериментів, але відомо, що збільшення кількості експериментів n збільшує точність оцінки. Точність оцінки можна отримати за одержаною формулою (19) при знайденому параметрі p .

Всі одержані результати дозволять оцінити показник якості виробу, що в подальшому дає можливість оцінити якість самого виробу.

З надійністю 99 % для моделі (4) знайдений інтервал зміни випадкової величини Y . Цей інтервал має значення у вигляді: $[-4, 6; 4, 6]$. Отримана оцінка параметра p (28) і

використані для оцінки показника якості афінні перетворення, що зберігають величину ділення відрізка в заданому відношенні, дозволяють створити методику оцінювання показників якості виробу.

Так, для методики оцінювання показника якості виробу:

1. Визначаємо кількість n -експериментів показника якості фактора виробу, що проводяться, та записуємо їхні значення – x_i , ($i = 1, \dots, n$).

2. Записуємо значення максимального показника якості x_0 , припустимі границі показника якості нижню – a та верхню – b .

3. Визначаємо абсолютне значення різниці – $x'_i = |x_i - x_0|$.

4. Складаємо варіаційний ряд із одержаних значень $x'_i - x'_{(i)}$, тобто, записуємо значення порядкових статистик $x'_{(i)}$.

5. Визначаємо припустимі значення для варіаційного ряду $a' = a - x_0$ та $b' = b - x_0$.

6. Знаходимо числові характеристики одержаного варіаційного ряду $x'_{(i)}$, ($i = 1, \dots, n$)

– вибіркове середнє $\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x'_{(i)}$, виправлену дисперсію $S'^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x'_{(i)} - \bar{x}')^2$, емпіричний стандарт $S' = \sqrt{S'^2}$ та коефіцієнт варіації $v' = S' / \bar{x}'$.

7. Знаходимо відношення λ точки ділення вибіркового середнього \bar{x}' на відріжку $[a'; b']$ за формулою $\lambda = (\bar{x}' - a') / (b' - \bar{x}')$.

8. Визначаємо оцінку математичного сподівання \bar{y} на відріжку $[-\gamma, \gamma]$ за формулою $\bar{y} = (-\gamma + \lambda \cdot \gamma) / (1 + \lambda)$.

9. Оцінку параметра $p - \tilde{p}$ моделі (4) визначаємо за формулою (28).

10. Знаходимо середнє значення при афінному перетворенні на відріжку $[-4, 6; 4, 6]$ за формулою $\bar{z} = (-4, 6 + \lambda \cdot 4, 6) / (1 + \lambda)$.

11. Визначаємо оцінку показника якості за формулою (3), замінюючи p на знайдене значення \tilde{p} та y на \bar{z} , тобто обчислюємо величину:

$$K_j = [\tilde{p} \cdot \exp(-\exp(-\bar{z})) + (1 - \tilde{p}) \cdot (1 - \exp(-\exp(\bar{z})))] \cdot 100\% . \quad (29)$$

Розглянемо запропонований метод оцінювання якості виробу, який складається з оцінок якості показників, факторів і самого виробу. Одержане значення K_i (29) для i -го показника перераховується разом з іншими отриманими значеннями показників фактора виробу. Узагальнений показник якості – K_o для факторів виробу обчислюється за формулою [10]:

$$K_o = \sqrt[m]{K_1 \cdot K_2 \cdots K_m} , \quad (30)$$

де m – число показників параметрів порівняння, що використовуються для цього фактора.

У результаті узагальнена функція якості K_o стає єдиним параметром оптимізації замість багатьох. Спосіб завдання цього показника такий: якщо хоча б одна якість $K_i = 0$, то узагальнена якість буде дорівнювати нулю. З іншого боку, $K_o = 1$ тільки тоді, коли $K_i = 1$. Це дозволяє порівнювати узагальнені коефіцієнти і тоді, коли відсутня частина показників порівняння різних факторів або їхні дані. Корінь m степеня «згладжує» відхилення, що виникають, а одержаний результат дозволяє оцінювати фактори виробу із визначеним ступенем точності.

Оскільки фактори виробу, в основному, мають вагові коефіцієнти для виробів, то для їх якості пропонується оцінювати, використовуючи середнє геометричне зважене із вагами, за формулою:

$$K_u = \sqrt[\sum_i \alpha_i]{K_{0_1}^{\alpha_1} \cdot K_{0_2}^{\alpha_2} \cdots K_{0_r}^{\alpha_r}}, \quad (31)$$

де α_i – вагові коефіцієнти i -фактора з r факторами випробу.

Для розрахунку оцінки якості виробу складено програму в системі Maple.

Висновки і пропозиції. Отримані результати для суміші розподілу найбільшого та найменшого значень випадкових величин дозволили створити метод оцінювання якості виробу, що дозволяє вирішувати певні практичні завдання та може застосовуватися при методі контролю показників якості і безпеки ФХП; забезпечення відповідності технічних умов чинним законодавчим нормам та стандартам.

Список використаних джерел

1. Петрова Ж. А. Инновационная технология получения функциональных порошков из растительного сырья / Ж. А. Петрова // Збірник наук. праць Вінницького нац. аграр. у-ту. – 2012. – Вип. 11, т. 2. – С. 351–355.
2. Сердюк А. М. Еколого-гігієнічні проблеми харчування / А. М. Сердюк // Журнал Академії медичних наук України. – 2002. – Т. 8, № 4. – С. 677–684.
3. Аминев И. Я. Кондитерские изделия функционального назначения с добавлением овсяной муки / И. Я. Аминев, М. Ю. Тамова, В. К. Кочетов // Известия вузов. Пищ. технология. – 2010. – № 1. – С. 121–122.
4. Трищ Р. М. Обобщенная точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС / Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 1. – С. 63–67.
5. Трищ Р. М. Точечная и интервальная оценки качества изделий / Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк // Вестник НТУ „ХПИ” : зб. наук. пр. – 2006. – Темат. вып. 27 : Новые решения в современных технологиях. – С. 96–102.
6. Трищ Г. М. Розробка методології оцінювання процесів систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.01.02 / Г. М. Трищ ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів, 2014. – 162 с.
7. Harrington E.C. Calculation of the generalized index of metallic primitives / E. C. Harrington // Chem. Engng. Progr. – 1963. – № 59. – С. 132–147.
8. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений / Э. Гумбель. – М. : Мир, 1965. – 450 с.
9. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для вузов / Н. Ш. Кремер. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 543 с.
10. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика / В. С. Пугачев. – 2-е изд., исправ. и доп. – М. : Физматлит, 2002. – 496 с.
11. Ламнауэр Н. Ю. Расчет обобщенного показателя качества детали / Н. Ю. Ламнауэр // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 2. – С. 68–71.
12. Кендалл М. Теория распределений : пер. с англ. / М. Кендалл, А. Стьюарт ; под ред. А. Н. Колмогорова. – М. : Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1966. – 588 с.

References

1. Petrova, Zh.A. (2012). Innovatsionnaia tekhnologiiia polucheniia funktsionalnykh poroshkov iz rastitelnogo syria [Innovative technology for producing functional powders from vegetable raw materials]. *Zbirnyk nauk. prats Vinnytskoho nats. ahrar. Universytetu – Proceedings of VNAU*, issue 11, vol. 2, pp. 351–355 (in Russian).
2. Serdyuk, A.M. (2002). Ekoloho-hihiienichni problemy kharchuvannia [Ecological and hygienic problems of nutrition]. *Zhurnal Akademii medychnykh nauk Ukrainy – Journal of the Academy of Medical Sciences of Ukraine*, vol. 8, no. 4, pp. 677–684 (in Ukrainian).

3. Amineva, I.Ia., Tamova, M.Iu., Kochetov, V.K. (2010). Konditerskie izdeliia funktsionalnogo naznachenii s dobavleniem ovsianoï muki [Confectionery products of functional purpose with the addition of oat flour]. *Izvestiia vuzov. Pishchevaia tekhnologiia – Proceedings of the universities. Food technology*, no. 1, pp. 121–122 (in Russian).
4. Trishch, R.M. (2006). Obobshchennaia tochechnaia i intervalnaia otsenki kachestva izgotovleniia detali DVS [The Generalized interval evaluation of the quality of manufacture of parts of internal combustion engines]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – East European journal of advanced technologies*, no. 1, pp. 63–67 (in Russian).
5. Trishch, R.M., Slitiuk, E.A. (2006). Tochechnaia i intervalnaia otsenki kachestva izdelii [Point and interval estimation of quality of products]. *Vestnik NTU „KhPI” – Bulletin of NTU “KHPI”, theme issue 27: Nove reshenniia v sovremennykh tekhnologiakh – New solutions in modern technologies*, pp. 96–102 (in Russian).
6. Trishch, H.M. (2014). Rozrobka metodolohii otsiniuvannia protsesiv system upravlinnia yakistiu pidpriemstv z urakhuvanniam vymoh mizhnarodnykh standartiv [Development of the methodology of evaluation processes of quality management to meet the requirements of international standards]. *Candidate's thesis*. Lviv: Natsionalnyi universytet “Lvivska politekhnika” (in Ukrainian).
7. Harrington, E. C. (1963). Calculation of the generalized index of metallic primitives. *Chem. Engng. Progr.*, no. 59, pp. 132–147.
8. Gumbel, E. (1965). *Statistika ekstremalnykh znachenii [Statistics of extremes]*. Moscow: Mir (in Russian).
9. Kremer, N.Sh. (2000). *Teoriia veroiatnostoni i matematicheskaia statistika [Probability theory and mathematical statistics]*. Moscow: IuNITI-DANA (in Russian).
10. Pugachev, V.S. (2002). *Teoriia veroiatnostoni i matematicheskaia statistika [Probability theory and mathematical statistics]* (2nd ed., rev. and enl.). Moscow: Fizmatlit (in Russian).
11. Lamnauer, N.Iu (2015). Raschet obobshchennogo pokazatel'ia kachestva detail [The calculation of the generalized indicator of quality]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova – The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, no. 2, pp. 68–71 (in Russian).
12. Kendall, M., Stiuart, A. (1966). *Teoriia raspredelenii [The Theory of distributions]* (Kolmogorov, A.N. Trans.). Moscow: Nauka. Glavnaia redaktsiia fiz.-mat. literatury (in Russian).

Жулінська Оксана Володимирівна – старший викладач кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи, Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету (пров. Отакара Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

Жулинская Оксана Владимировна – старший преподаватель кафедры пищевых технологий и гостинично-ресторанного дела, Харьковский торгово-экономический институт Киевского национального торгово-экономического университета (пер. Отакара Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

Zhulinska Oksana – senior lecturer in Food Technology, Hotel and Restaurant Business, Kharkiv Trade and Economic Institute Kiev National Trade and Economic University (8 Otakar Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: o.julin@yandex.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3072-4475>

Свідло Карина Володимирівна – доктор технічних наук, декан факультету торгівлі, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу, професор кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи, Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету (пров. Отакара Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

Свидло Карина Владимировна – доктор технических наук, декан факультета торговли, гостинично-ресторанного и туристического бизнеса, профессор кафедры пищевых технологий и гостинично-ресторанного дела, Харьковский торгово-экономический институт Киевского национального торгово-экономического университета (пер. Отакара Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

Svidlo Karina – Doctor of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Commerce, Hospitality and Tourism Business, Professor of the Department of Food Technologies and Hotel-Restaurant Business, Kharkiv Trade and Economics Institute Kyiv National Trade and Economic University (8 Otakar Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: karinasvidlo@rambler.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0175-7756>

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 697

Марина Лапа, Марина Двоєглазова, Ілля Печонкін, Юлія Лапа

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

Марина Лапа, Марина Двоєглазова, Ілля Печенкин, Юлия Лапа

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Maryna Lapa, Maryna Dvoieglazova, Illia Pechonkin, Yuliia Lapa

PROVIDING OF BUILDINGS ENERGOEFFICIENCY

Проведено аналіз нормативної та законодавчої бази, існуючої забудови, підходів до забезпечення енергоефективності будівель під час проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації, розроблені рекомендації для підвищення якості та ресурсоздатності будівель за допомогою забезпечення їх енергоефективності.

Ключові слова: енергоефективність, якість будівель, експлуатація будівель.

Рис.: 5. Табл.: 6. Бібл.: 10.

Проведен анализ нормативной и законодательной базы, существующей застройки, подходов к обеспечению энергоэффективности зданий при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации, разработаны рекомендации для повышения качества и ресурсоспособности зданий путем обеспечения их энергоэффективности.

Ключевые слова: энергоэффективность, качество зданий, эксплуатация зданий.

Рис.: 5. Табл.: 6. Библ.: 10.

The article analyzes the regulatory and legislative framework, existing buildings, approaches to buildings energy efficiency in the design, construction, reconstruction and operation, developed recommendations to improve the buildings quality through their energy efficiency.

Key words: energy efficiency, the buildings quality, buildings operation.

Fig.: 5. Tabl.: 6. Bibl.: 10.

Постановка проблеми. Україна споживає у загальному балансі більше 70 % імпортованих енергоресурсів та є однією з енергозалежних країн Європи, існує проблема неефективного використання енергоресурсів. В Україні понад 30 % кінцевої енергії споживається будинками під час експлуатації, тому вирішення питань енергоефективності будівель у процесі проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації є актуальним в умовах енергетичної кризи у країні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як основу для оцінювання житла використовують його фізико-будівельні й архітектурно-просторові особливості, а головне – людські критерії. До них відносять сприйняття середовища людьми, забезпечення ресурсами, видалення продуктів життєдіяльності та зручність управління цими процесами. Усі ці потреби об'єднані в інтегральному понятті якості, тобто у сукупності властивостей, що характеризують ступінь придатності будівель до використання за призначенням і задоволення вимог споживача. Проектуванню енергоефективних будинків присвячені роботи М. М. Бродач, А. Н. Дмитрієва, Т. А. Маркуса, Е. Н. Моррриса, В. Л. Мартинова, Т. О. Кашенко, М. П. Селіванова, Ю. А. Табунщикова, Н. В. Шилкіна [4; 5; 9]. Енергоефективні будівлі як новий напрямок в експериментальному будівництві з'явилися після світової енергетичної кризи 1974 року. Вони стали відповіддю на критику спеціалістів Міжнародної енергетичної ефективності (МІРЕК) ООН про те, що сучасні будівлі мають великі резерви підвищення їх теплової ефективності, але науковці недостатньо вивчили особливості формування їх теплового режиму, а проектувальники не вміють оптимізувати потоки тепла й маси в огороженнях і будівлях. У тій же доповіді фахівців МІРЕК була сформульована головна ідея економії енергії: енергоресурси можуть бути використані більш ефективно завдяки застосуванню заходів, які здійснені технічно, обґрунтовані економічно, а також прийнятні з екологічного та соціального поглядів, тобто викликає мінімум змін звичного способу життя.

Мета статті. Аналіз нормативної та законодавчої бази, недоліків існуючої забудови, розробка рекомендацій для підвищення якості та ресурсоздатності будівель за допомогою забезпечення їх енергоефективності.

Викладення основного матеріалу. Проект першої висотної енергоефективної споруди почав втілюватися в життя в 1972 році, в американському Манчестері. Його автори, архітектори Ендрю і Ніколас Ісаак «здали в роботу» проект будівлі загальною площею 16 350 кв. м. Будівля має сім поверхів, на яких розташовуються офісні приміщення, і технічний поверх (рис. 1).

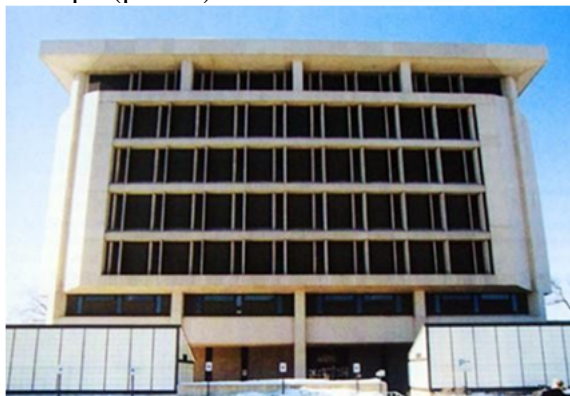


Рис. 1. Перша енергоефективна висотна будівля (США)

Найбільш енергоефективною висотною будівлею велика кількість спеціалістів називають 309-метрову башту Pearl River Tower, побудовану в Гуанчжоу (рис. 2). Будівля має 71 поверх. Спроекували її американці – інженери із Skidmore, Owings & Merrill. Прикладами енергоефективних будівель також є Commerzbank (1997 р., Німеччина), MAIN TOWER – у Франкфурті-на-Майні (2000 р., Німеччина), London City Hall (2002 р., Велика Британія) (рис. 3).



Рис. 2. Pearl River Tower – лідер з енергоефективності (2010 рік, Китай)



Рис. 3. London City Hall (2002 рік, Велика Британія)

Метою вітчизняного проекту енергоефективної будівлі було створення, передексплуатаційна перевірка і наступне впровадження в житлове будівництво міст новітніх технологій і обладнання, що забезпечують як мінімум двократне зниження енергозатрат на експлуатацію житлового фонду. У 2015 р. у Київській області офіційно було введено в експлуатацію перший серійний енергоефективний будинок в Україні – OptimaHouse, який було створено на основі європейських концепцій «Мультикомфортний дім» та «Активний дім», спеціально адаптованих для українського ринку. Низький рівень енергоспоживання, короткі терміни будівництва, незалежність від газопостачання, доступна ціна – головні переваги новобудови (рис. 4).



Рис. 4. Українські проекти

Аналіз існуючих українських будівельних норм показав, що в них:

- відсутні поняття геометричних теплових мостів та їх розрахунку;
- відсутня методика розрахунку теплових мостів для конструкцій, що контактують з ґрунтом у неопалюваних приміщеннях;
- розрахунок теплових мостів виконують за внутрішніми розмірами.

Міжнародний стандарт ISO 50001:2011 встановлює системи і процеси для поліпшення рівня енергоефективності, що враховує енергоефективність, характер використання та кількість споживаної енергії. Застосування цього стандарту дозволить знизити викиди парникових газів та інші екологічні впливи, а також енерговитрати за допомогою системного підходу до енергоменеджменту [4]. Але забудовники в Україні не проводять енергоаудит зведених об'єктів та будівель після капітальної реконструкції. Застосування енергоефективних технологій підвищує вартість будівництва, але знижує вартість експлуатації будівель. Законопроект «Про енергетичну ефективність будівель» вводить сертифікацію енергетичної ефективності для об'єктів будівництва та існуючих будівель з метою визначити фактичні показники енергетичних характеристик. В Україні діє Урядова програма з енергоефективності [2], за два роки дії програми нею скористалися більше 155 тис. громадян – власників приватних будинків. Так, за даними опитаних учасників програми, економія газу для приватного будинку після термомодернізації складає в середньому 29 %. Після заміни вікон на енергоефективні економія газу для приватного будинку становить 12 %, а економія тепла для квартири – 16 %. Модернізація системи опалення і вентиляції дає в середньому 21 % економії газу [2].

Але під час реконструкції та капітальних ремонтів населення, вкладаючи величезні кошти у хаотичну термомодернізацію своїх квартир та будинків, абсолютно не впливає на зниження енергоспоживання, а здебільшого, навпаки, його множить. Цей процес ніким не контролюється, навпаки, органи місцевого самоврядування всіляко заохочують подібну діяльність, оскільки не треба піклуватися про розвиток комунальної теплоенергетики, відсутня нормативна база та доступні методичні матеріали для населення щодо термомодернізації та забезпечення енергоефективності будинків. У багатьох країнах розробляється доступна методична база для населення щодо забезпечення енергоефективності житлових будинків, промислових будівель у процесі будівництва та реконструкції [10].

Розглянемо класифікацію будівель за їхнім рівнем енергоспоживання.

1. Старі будівлі (будівлі побудовані до 1970-х) – потребують для свого функціонування (опалення й охолодження) близько 300 кВт·год/м² на рік. Цей стандарт, на жаль, дотепер відповідає і звичайним будівлям, які будуються в Україні.

2. Нові будівлі (які будувались в Європі з 1970-х до 2002 року) – 150 кВт·год/м² на рік.

3. Будинки низького рівня споживання енергії (з 2002 року в Європі не дозволяється будівництво будинків з більшим енергоспоживанням!) – 60 кВт-год/м² на рік.

4. Пасивний будинок (з 2019 року в Європі не можна будувати будинки за стандартами нижче, ніж пасивний будинок) – 15 кВт-год/м² на рік. Згідно з Директивою ЄС 2012/20 EU по енергоефективності очікується, що до 2020 року усі країни-члени Євросоюзу забезпечать 20 % підвищення власної енергоефективності.

5. Будинок нульової енергії (архітектурно має той самий стандарт, що і пасивний будинок, але інженерно обладнаний так, щоб споживати виключно ту енергію, яку сам і виробляє) – 0 кВт-год/м² на рік.

6. Будинок плюс енергії (будівля, яка за допомогою встановленого інженерного обладнання: сонячних батарей, колекторів, теплових насосів, рекуператорів тощо виробляє більше енергії, ніж використовує сама).

Розглянемо енергоспоживання протягом життєвого циклу (ЖЦ) будівлі. Експлуатація будівель – основний період енергоспоживання та викидів CO₂ протягом ЖЦ будівлі (рис. 5) [6–8]. У нашій країні житловий фонд становить 25 % усіх основних фондів. Стандартне енергоспоживання будинку в Європі становить: опалення – 57 %, ГВП – 25 %, освітлення та прилади – 11 %, приготування їжі – 7 %. Таким чином, основні витрати енергії – це опалення будинку. На рис. 5 показано зниження загального споживання енергії будівель у світі, зведених за сучасними технологіями будівництва.

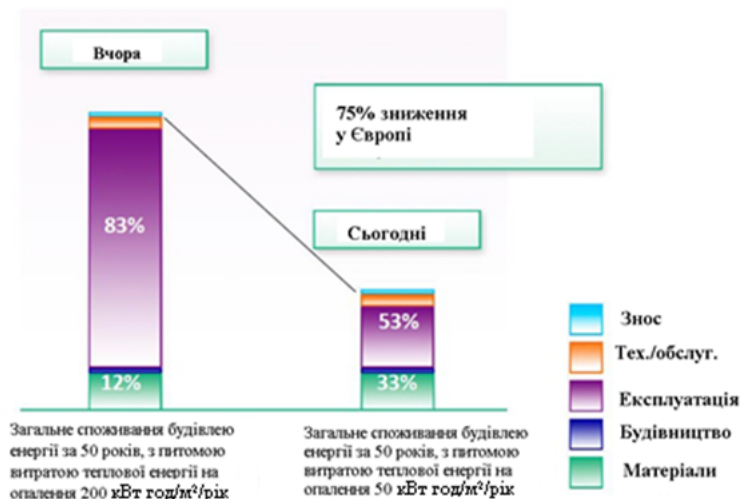


Рис. 5. Загальне споживання енергії будівель протягом життєвого циклу

Сьогодні великим тягарем для економіки нашої держави є тепловтрати. Через незабезпечення енергоефективності будівель втрати тепла становлять 47 %. Наведемо приклад досліджених тепловтрат у п'ятиповерхових будинках перших масових серій (табл. 1) [3].

Таблиця 1

Тепловтрати в п'ятиповерхових будинках перших масових серій

Вид будівлі	Тепловтрати, %				
	Стіни	Горищні перекриття	Підлога 1-го поверху	Вікна	Інфільтрація
Панельний будинок	30	5	7	23	35
Цегляний будинок	22	10	7	23	38

Аналіз існуючої малоповерхової забудови показав, що під час проектування не розраховується термомаса та енергетична ефективність будівлі, не застосовується пасивний дизайн, вікна не враховують рух та направлення сонячних променів, покрівля не пристосована для установки сонячних колекторів, фундаменти не енергоефективні, ча-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

сто відсутні утеплювальний та відбиваючий прошарок. Такі будинки дорого і довго прогрівати до комфортного стану.

Розглянемо заходи для забезпечення енергоефективності будівель та зниження витрат на опалення під час експлуатації будівель. У процесі проектування захисних конструкцій слід докладно і детально враховувати усі можливі коливання та поєднання температурних і вологісних факторів зовнішнього середовища й механізми їх впливу на комфортні умови усередині приміщень [1]. Для огорожувальних конструкцій житлових та опалюваних будівель вибирають матеріали з невеликим коефіцієнтом теплопровідності, але з вищою питомою теплоємністю. В табл. 2 наведено фізико-механічні показники піноблоків, газоблоків, керамзитоблоків та будівельної цегли.

Таблиця 2

Аналіз основних фізико-механічних показників піноблоків та традиційних будівельних матеріалів

Показники	Цегла будівельна		Керамзито-блоки	Газоблоки	Піноблоки
Густина, кг/м ³	1600-1800	1800	800-1800	600-800	300-1800
Маса 1м ² у „півцеглини”, кг	1200-1800	1450-2000	500-900	90-900	90-900
Теплопровідність Вт/(м·К)	0,6-0,95	0,85-1,15	0,75-0,95	0,07-0,38	0,07-0,38
Морозостійкість, цикл	25	25	25	35	35
Водопоглинання, %	12	16	18	20	8-10
Межа міцності на стиск, МПа	2,5-25	5-30	3,5-7,5	0,5-25,0	0,25-12,5

Сучасні теплоізоляційні матеріали, як правило, мають характерні їм властивості, завдяки яким вони здатні прослужити довгий час навіть у разі експлуатації у важких умовах (табл. 3). А якісна ізоляція дозволяє використовувати систему вентиляції з меншим коефіцієнтом теплового обміну, що значно знижує навантаження на компресор.

Таблиця 3

Характеристики теплоізоляційних матеріалів

Показник	Шлаковата	Скловата	Кам'яна вата	Базальтове тонке волокно	БСТВ
Гранична температура застоування, °С	до 250	від -60 до +450	до 300-600	від -190 до +700	від -190 до +1000
Середній діаметр волокна, мкм	4 - 12	4 - 12	4 - 12	5 - 15	1 - 3
Сорбційне зволоження за 24 год. (не більш), %	1,9	1,7	0,095	0,035	0,02
Колочість	так	так	ні	ні	ні
Необхідність використ. зв'язуючого	так	так	так	так	ні
К-т теплопровідності, Вт/(м·К)	0,46-0,48	0,038-0,046	0,077-0,12	0,038-0,046	0,035-0,046
Клас горючості (НЗ – незаймисті, З - займисті)	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Виділення шкідливих речовин	так	так	так	так	ні
Теплоємність, Дж/(кг·К)	1000	1050	1050	500-800	800-1000
Температура спікання	250-300	450-500	600	700-1000	1100-1500
Довжина волокон, мм	16	15-50	16	20-50	50-70
Хімічна стійкість (втрата ваги) у воді, %	7,8	6,2	4,5	1,6	1,6

Слід зазначити, що деякі недоліки стінових конструкцій є результатом не тільки неопрацьованих проектних рішень, але і низької кваліфікації робітників, випадкового браку або прихованих дефектів будматеріалів.

Конструювання без теплових мостів. Оболонки будівель складаються не тільки з загальноприйнятих конструкцій (стіна, дах, перекриття), але й охоплюють грані, кути, стики і місця порушення цілісності зовнішньої теплоізоляційної оболонки (внаслідок

наскрізного проходження, наприклад, трубопроводів, вентиляційних каналів або елементів будівельних конструкцій). У всіх цих місцях тепловтрати, як правило, збільшені в порівнянні зі звичайними поверхнями. Завдяки ретельному проектуванню і добросовісному виконанню можливо досить сильно зменшити тепловтрати, що виникають через теплові мости.

Конструювання без теплових мостів визначається таким чином: вплив, викликаний «теповими мостами», повинен бути дуже малий або рівний нулю. Тоді спочатку зовсім не включатимемо в розрахунок ефект, викликаний тепловими мостами – це суттєво спростить розрахунок. Дотримання чотирьох правил допомагає понизити тепловтрати, що виникають через теплові мости (табл. 4).

Таблиця 4

Зниження тепловтрат через теплові мости

Правило уникнення теплових мостів	По можливості не робити отвори в теплоізоляційній оболонці
Правило проходження теплоізоляції	Якщо не можливо уникнути отворів в теплоізоляційному шарі, то необхідно по можливості в цьому місці максимально збільшити опір теплопередачі і в шарі теплоізоляції, наприклад, використовувати пористий бетон або деревину
Правило примикання (для стиків)	Розміщення утеплювача в стиках будівельних елементів повинно бути без пустих просторів, тобто стик повинен бути повністю ізольований
Правило геометрії	Обирати по можливості грані з тупими кутами ($>90^\circ$)

Герметична оболонка будівлі. Зовнішня оболонка будівель повинна бути повітро-непроникною. Ядром проблеми є неправильне уявлення – поширене переконання, що через нещільність зовнішньої оболонки будівлі (шви, стики, зазори) можна гарантувати у квартирах достатню припливну і витяжну вентиляцію.

Однак повітряний потік через шви має вагомий недолік: якщо через шов ззовні усередину легко проходить повітря, то через напір вітру можливе попадання в конструкцію атмосферних опадів. Якщо повітряний потік приходить зсередини назовні, то ці наслідки уже катастрофічні. Тепле вологе повітря приміщення охолоджується, проходячи через шов; виходячи назовні, воно може уже не містити попереднього проценту вологості, оскільки у холодному повітрі міститься невеликий відсоток водяної пари. Зайва волога конденсується у шві, тобто конструкція наскрізь просочується вологою. Герметичність будівель легко виміряти. Для цього є так званий «тест тиском». За допомогою вентилятора, встановленого у проріз зовнішніх дверей або вікна, створюють у всій будівлі певне розрідження (звичайна величина різниці тиску становить 50 Па). Вимірюється кількість повітря, що проходить через нещільність усередину приміщення, коли у приміщенні створюється знижений тиск. Ця кількість визначає витік повітря. Також розміщення місць витоку повітря можливо точно визначити за допомогою огляду зовнішньої оболонки у характерних місцях (схильних до повітропроникності). Типові місця витоку:

- з'єднання і стики конструкційних елементів;
- проходження кабелів і труб скрізь повітроізолюючу оболонку будівлі;
- примикання вікон і дверей;
- з'єднання різних будівельних матеріалів;
- шви примикання прибудов і еркерів;
- мансардні і слухові вікна, дахові люки.

Вітчизняні виробники вже створили сучасні технології і виготовляють у достатній кількості вікна і двері з високими енергозберігаючими якостями, які відповідають рівню світових стандартів (табл. 5, 6) [3].

Таблиця 5

Термічний опір віконних конструкцій

Тип конструкції	Опір теплопередачі, м ² К/Вт
Одне скло	0,16-0,2
Однокамерний склопакет із звичайним склом	0,3-0,36
Два скла окремо	0,32-0,28
Однокамерний склопакет з одним енергозберігаючим склом	0,5-0,59
Однокамерний склопакет із звичайним склом + одне скло	0,62-0,66
Однокамерний склопакет з одним енергозберігаючим склом + одне скло	0,72-0,8
Двокамерний склопакет із звичайним склом	0,64-1,0
Двокамерний склопакет з подвійним енергозберігаючим склом	0,8-1,25

Таблиця 6

Тепловий опір рами і сплетення із різних матеріалів

Матеріал рами	Опір теплопередачі, м ² К/Вт
Дерево загальною товщиною 80 мм	0,63
Дерево загальною товщиною 50–80 мм	0,50
Дерево загальною товщиною 50 мм	0,36
Пластик	0,36
Пластик з металевим підсиленням	0,28
Алюміній з «термобар'єрами» > 10 мм	0,28
Алюміній з «термобар'єрами» < 10 мм	0,20
Алюміній або сталь без «термобар'єрів»	0,14

Правильна експлуатація сонячного тепла. Вікна пасивних будівель працюють як сонячні колектори – теплонадходження від пасивного використання сонячної енергії здійснюють основний внесок у відшкодування тепловтрат. Пасивний дизайн використовує місцеві кліматичні умови для нагрівання та охолодження будинку природним чином [9]. Концепція використовує сезонні зміни у шляху сонця по небу, щоб нагріти й охолодити будинок, а не використовувати паливо або електрику. Кут пересування сонця по небу змінюється залежно від пори року. Це впливає на рівень сонячного світла, який може увійти до будівлі. Будинки можуть бути сконструйовані таким чином, щоб захопити низьковисотні промені зимового сонця для нагріву та використання захисту вікна, щоб блокувати велику висоту сонця влітку. Мета полягає не в тому, щоб будь-якою ціною отримати максимально можливу кількість сонячної енергії, а в тому, щоб по можливості зберігати на мінімальному рівні недостатню потребу в енергії на опалення [10].

Висновки. Таким чином, незалежно від типу та масштабу будівництва, для підвищення якості будівель, їх енергоефективності та ресурсоспроможності необхідно враховувати певні принципи екологічного дизайну під час будівництва та реконструкції:

- зменшити споживання ресурсів, особливо невідновлюваних ресурсів через енергоефективні конструкції, включаючи відновлювані джерела енергії, використання технологій пасивного сонячного опалення/охолодження, природної вентиляції і природного освітлення;

- проектувати з урахуванням стійкості, адаптивності та можливості перепродажу будівлі;

- для уникнення потенційних небезпек для здоров'я мінімізувати використання небезпечних хімічних речовин, уникати хімічно оброблених матеріалів, бути обережними щодо електромагнітного випромінювання;

- максимізувати здоров'я, безпеку і комфорт споживачів;

- проектувати з метою мінімізації відходів і максимізації ефективності використання води;

- мінімізація забруднення навколишнього середовища повітря, води і ґрунту;

– розробка доступних методичних рекомендацій, посібників відповідних місцевих органів влади для населення щодо забезпечення енергоефективності будівель під час будівництва та реконструкції приватних житлових будинків та термомодернізації квартир.

Список використаних джерел

1. *Вольфганг Ф.* Основные положения по проектированию пассивных домов / Ф. Вольфганг. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.
2. *Держенергоефективності України* [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. – Режим доступу : <http://saee.gov.ua>.
3. *Експлуатація та ремонт будівель міської забудови.* Ч. 1 / [під ред. М. М. Попович, Т. В. Прилипко, Т. Е. Потапова]. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 96 с.
4. *Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT): ДСТУ ISO 50001:2014.* – [Чинний від 16.09.2014]. – К. : Мінекономрозвитку України, 2015. – 27 с. – (Державний стандарт України).
5. *Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006.* – [Чинний від 2007-04-01]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 73 с.
6. *Лапа М. В.* Развитие научных основ повышения качества эксплуатации и ресурсоспособности критически важных объектов инфраструктуры : монография / М. В. Лапа, К. Н. Маловик. – Х. : Индустрия, 2016. – 280 с.
7. *Лапа М. В.* Управління документацією при виконанні ремонтно-будівельних робіт / М. В. Лапа, Н. М. Шашкевич, І. С. Печонкін // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (19-22 травня 2015 р., м. Чернігів). – Чернігів : ЧНТУ, 2015. – С. 192–194.
8. *Підвищення якості планування та проведення поточних і капітальних ремонтів виробничих будівель, споруд на АЕС* / М. В. Лапа, М. А. Цезарук, І. С. Печонкін, Є. В. Мирошниченко // Збірник наукових праць СНУАЕтаП. – 2013. – № 4 (26). – С. 156–163.
9. *Табунищikov Ю. А.* Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунищikov, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
10. *Indigo shire council* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.indigoshire.vic.gov.au>.

References

1. *Volfgang, F.* (2008). *Osnovnye polozheniia po proektirovaniu passivnykh domov [Basic Situation on designing passyv houses]*. Moscow: Izd-vo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov (in Russian).
2. *Derzhenerhoefektyvnosti Ukrainy [State Energy Efficiency]. Ofitsiyni sait Derzhavnoho ahentstva z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy [Site of the State Agency for Energy and Energy Saving of Ukraine]*. [www.saee.gov.ua](http://saee.gov.ua). Retrieved from <http://saee.gov.ua>.
3. *Popovych, M.M., Prylypko, T.V., Potapova, T.E.* (2004). *Ekspluatatsiia ta remont budivel miskoi zabudovy [Operation and maintenance of urban buildings]*. Vinnytsia: VNTU (in Ukrainian).
4. *Enerhozberezhennia. Systemy enerhetychnoho menedzhmentu. Vymohy ta nastanova shchodo vykorystannia [Energy management systems — Requirements with guidance for use] (2015). DSTU ISO 50001:2014 from September 16, 2014.* Kyiv: Ukraine Ministry of Economic Development (in Ukrainian).
5. *Konstruktzii budynkiv i sporud. Teplova izoliatsiia budivel [Construction of buildings and structures. Insulation of buildings] (2006). DBN V.2.6-31:2006 from 01 April.* Kyiv: Ukraine Ministry of Construction (in Ukrainian).
6. *Lapa, M.V. & Malovik, K.N.* (2016). *Razvitie nauchnykh osnov povysheniia kachestva ekspluatatsii i resursosposobnosti kriticheski vazhnykh obiektov infrastruktury [The Scientific fundamentals development of Increase quality operation and resource abilities critical infrastructure objects]*. Kharkov: Industriia (in Russian).
7. *Lapa, M. V.* (2015). *Upravlinnia dokumentatsiieiu pry vykonanni remontno-budivelnykh robit [Document management in the execution of repair and construction works]. Proceedings from Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system: materialy V Mizhnar.*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

nauk.-prakt. konf. – Comprehensive quality assurance processes and systems. Conference proceedings of the V Intern. scientific-practical conference (Chernihiv, May 19-22, 2015). Chernihiv: ChNTU, pp. 192–194 (in Ukrainian).

8. Lapa, M.V., Tsezaruk, M.A., Pechonkin, I.S., Myroshnychenko, Ye.V. (2013). Pidvyshchennia yakosti planuvannia ta provedennia potochnykh i kapitalnykh remontiv vyrobnychykh budivel, sporud na AES [Improving the quality of planning and execution of the industrial buildings and structures current and capital repair in nuclear power plants]. *Zbirnyk naukovykh prats SNUiEtaP – Scientific works SNUNEI*, no 4 (26), pp. 156–163 (in Ukrainian).

9. Tabunshnikov, Iu. A., Brodach, M. M., Shilkin, N. V. (2003). *Energoeffektivnye zdaniia [Power effective buildings]*. Moscow: AVOK–PRESS (in Russian).

10. *Indigo shire council [Site of the Indigo shire council]*. www.indigoshire.vic.gov.au. Retrieved from <http://www.indigoshire.vic.gov.au>.

Лапа Марина Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, корп. 23, м. Чернігів, 14000, Україна).

Лапа Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, корп. 23, г. Чернигов, 14000, Украина).

Лапа Маруна – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Industrial and Civil Construction Department, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., build. 23, 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: siver_info@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2560-0371>

ResearcherID: 1673-2016

Двоєглазова Марина Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри публічного управління та менеджменту організацій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, корп. 23, м. Чернігів, 14000, Україна).

Двоєглазова Марина Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры публичного управления и менеджмента организаций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, корп. 23, г. Чернигов, 14000, Украина).

Dvoieglazova Maryna – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Public Administration and Organizations' Management Department, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., build. 23, 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: maryna.dvoieglazova@gmail.com.

Печонкін Ілля Сергійович – інженер-аналітик, група компаній ЛІРА (вул. Кадетський Гай, 6а, оф. 209, м. Київ, 03048, Україна).

Печенкин Илья Сергеевич – инженер-аналитик, группа компаний ЛИРА (ул. Кадетский Гай, 6а, оф. 209, г. Киев, 03048, Украина).

Pechonkin Iliia – engineering analyst, LIRA group of companies (6a Kadetskiy Hai Str., office 209, 03048 Kyiv, Ukraine).

E-mail: jeniviev@mail.ru.

Лапа Юлія Борисівна – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, корп. 23, м. Чернігів, 14000, Україна).

Лапа Юлия Борисовна – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, корп. 23, г. Чернигов, 14000, Украина).

Лапа Yuliia – student, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., build. 23, 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Yu_lapa@mail.ru

УДК 621.215

*Оксана Золотарьова, Ніна Мережко***АТМОСФЕРОСТІЙКІСТЬ ПРОСОЧЕНИХ СИЛОКСАНАМИ БУДІВЕЛЬНИХ ПОРИСТИХ НЕРУДНИХ МАТЕРІАЛІВ***Оксана Золотарева, Ніна Мережко***АТМОСФЕРОСТОЙКОСТЬ ПРОПИТАННЫХ СИЛОКСАНАМИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОРИСТЫХ НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ***Oksana Zolotarova, Nina Merezko***WEATHERABILITY OF THE CONSTRUCTION POROUS NONMETALLIC MATERIALS IMPREGNATED WITH SILOXANES**

Потреби в матеріалах облицювального призначення, що мають високі експлуатаційні властивості в поєднанні з естетичністю та архітектурною виразністю, постійно зростають відповідно до вимог сучасного цивільного та промислового будівництва. Найменш стійкими до дії атмосферних факторів серед кам'яних матеріалів, що найбільш широко застосовуються у будівництві, є пористі нерудні матеріали.

Роботу присвячено вирішенню питання підвищення атмосферостійкості будівельних пористих нерудних матеріалів за рахунок просоченням їхньої поверхні кремнійорганічними сполуками різних складів та оцінці стабільності їхніх експлуатаційних властивостей в умовах впливу атмосферних факторів.

Ключові слова: атмосферостійкість, будівельні пористі нерудні матеріали, природний камінь, просочення, силосани, кремнійорганічні сполуки, вапняк, черепашник, туф, пісковик.

Табл.: 4. Бібл.: 7.

Потребности в материалах облицовочного назначения, которые имеют высокие эксплуатационные свойства в сочетании с эстетической и архитектурной выразительностью, постоянно растут в соответствии с требованиями современного гражданского и промышленного строительства. Наименее стойкими к действию атмосферных факторов среди каменных материалов, которые наиболее широко применяются в строительстве, являются пористые нерудные материалы.

Работа посвящена решению вопроса повышения атмосферостойкости строительных пористых нерудных материалов за счет пропитки их поверхности кремнийорганическими соединениями разных составов и оценке стабильности их эксплуатационных свойств в условиях влияния атмосферных факторов.

Ключевые слова: атмосферостойкость, строительные пористые нерудные материалы, природный камень, пропитка, силосаны, кремнийорганические соединения, известняк, ракушечник, туф, песчаник.

Табл.: 4. Библ.: 7.

Needs for materials of facing assignment which have high operational properties in combination with esthetic and architectural expressiveness permanently grow according to requirements of the modern civil and industrial engineering. Porous non-metallic materials are the least resistant to action of atmospheric factors among all stone materials which are most widely applied in construction.

Article is devoted to the solution of a question of increase of construction porous non-metallic materials weatherability due to impregnation of their surface by organic silicon compounds of different compositions and an assessment of stability of their operational properties in the conditions of atmospheric factors influence.

Key words: weatherability, construction porous non-metallic materials, natural stone, impregnation, siloxanes, organic silicon connections, limestone, shell rock, tufa, sandstone.

Табл.: 4. Библ.: 7.

Постановка проблеми. Проблема використання будівельних нерудних матеріалів різного функціонального призначення особливо актуальна для України, адже наша держава посідає провідне місце по запасах кам'яних матеріалів у світі. Проте пористі нерудні матеріали середньої твердості, зокрема, вапняк, черепашник, пісковик і туф є найменш стійкими до дії атмосферних та експлуатаційних факторів, що обумовлює доцільність їх обробки кремнійорганічними просочуючими складами. Вибір ефективних методів захисту природного пористого каменю практично унеможливується без урахування дії різних атмосферних чинників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пористі нерудні матеріали, які широко використовуються у будівництві, починають руйнуватися під дією атмосферних факторів через 20 років, а втрачати свої декоративні властивості вже через 3–7 років експлуатації [1]. Кремнійорганічні сполуки широко використовуються для зменшення водопоглинання та підвищення атмосферостійкості цементного бетону [2], а також

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

фіброцементних плит [3]. Найбільш повно вивчені питання підвищення атмосферостійкості бетонів [4].

Для захисту виробів із пористого природного каменю використовуються кремнійорганічні сполуки [5]. Гідрофобний захист з використанням кремнійорганічних сполук застосовується також для підвищення атмосферостійкості унікальних громадських споруд, скульптур, пам'ятників історії та культури [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Одним із ефективних шляхів захисту нерудних матеріалів будівельного призначення є використання кремнійорганічних сполук різного складу. Але практично відсутня інформація стосовно можливості підвищення атмосферостійкості пористих нерудних матеріалів.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є оцінка атмосферостійкості будівельних пористих нерудних матеріалів силікатного (пісковик, туф) та карбонатного (вапняк, черепашник) походження, просочених кремнійорганічними сполуками різного складу.

Виклад основного матеріалу. Виконаний комплекс досліджень дозволив отримати достовірну інформацію відносно основних технологічних питань щодо оптимальних співвідношень інгредієнтів та концентрацій просочуючих кремнійорганічних складів для отримання нерудних матеріалів (вапняку, черепашнику, пісковіку і туфу) з необхідним рівнем фізико-технологічних властивостей [7]. Не менш важливим є визначення рівня стабільності зазначених властивостей у процесі експлуатації. Відповідь на це питання доцільно, на наш погляд, отримувати з урахуванням широкого кола особливостей застосування карбонатних і силікатних поруватих матеріалів з природного каменю.

Насамперед це стосується оцінки рівня розвитку деструкційних процесів у результаті руйнівної дії зовнішнього середовища (волога, сонячна радіація, знакоперемінні зміни температури тощо). Ці фактори можуть впливати на властивості в різних комбінаціях. Тому доцільно у процесі випробувань реалізувати найбільш жорсткі варіанти їх поєднання. Досягається такий ефект при відповідних режимах прискорених випробувань, що мають певний порядок зміни атмосферних факторів з урахуванням часового.

Для просочення природного каменю застосовувались переважно двокомпонентні складі (№ 1-6) із співвідношенням метилсиліконату калію, етил- і фенілсиліконатів натрію в межах від 1:2 до 2:1 у частинах по масі в перерахунку на сухий залишок, а також трикомпонентний склад № 7 із співвідношенням інгредієнтів 1:1:1. Сумарна концентрація просочуючих розчинів не перевищувала 5 мас. % у перерахунку на сухий залишок. Як розчинник використовувалась вода. Аналогічні підходи використовувались і під час підбору складів на основі гідролізату етилсилікату – просочуючі складі № 8–10. Зіставлення ефективності застосування запропонованих складів здійснювалось із системою № 11, яка передбачала застосування сумішей водних емульсій поліетилгідридсилоксану і поліметилфенілсилоксану в поєднанні з гідролізатом етилсилікату в межах зазначених вище концентрацій.

Встановлено, що комплексна дія атмосферних факторів у лабораторних умовах протягом 60 циклів характеризується неоднозначною зміною параметрів поруватої структури карбонатних матеріалів, просочених сумішами органілсиліконатів лужних металів у різних співвідношеннях та в їх поєднанні з гідролізатом етилсилікату.

У результаті комплексної дії деструктивних атмосферних факторів загальна пористість просоченого вапняку зростає на 16,1 % (склад № 7). Мінімальне її збільшення відзначено для рецептури № 10, 9 (на 0,7–1,7 %) з використанням гідролізату етил силікату.

Закрита пористість просочених вапняків становить 0,6 (склад № 2) – 8,2 % (склад № 9). Зміна її в результаті дії атмосферних факторів відбувається неоднозначно. Застосування всіх досліджуваних складів характеризується збільшенням закритої пористості на 1,6 (склад № 4) – 6,4 % (склад № 2), а для складу 9 і 10 зафіксовано зменшення від-

повідно на 2,5 та 0,4 %. Особливих відмінностей закритої порової структури в досліджуваних об'єктах не відмічено.

Аналогічна закономірність характерна й у зміні коефіцієнта мікропористості, який збільшується від 0,30 до 0,91-0,99.

Мінімальні втрати маси просочених вапняків відмічено при застосуванні складів № 3 (0,53 %) і № 4 (0,70 %), а максимальні (2,15 %) для складу № 9.

Зміни поруватої структури просочених вапняків у результаті дії деструкційних атмосферних факторів впливають і на водовідштовхуючі властивості останніх. Так, значення крайових кутів змочування поверхні водою зменшуються від 79° (склад № 1) – 93° (склад № 2) у вихідних матеріалів до 72° (склад № 9) – до 90° (склади № 2, 6, 10) після випробувань на атмосферостійкість (табл. 1).

Таблиця 1

Змочуваність, водопоглинання і механічна міцність просоченого силосанами вапняку після комплексної дії атмосферних факторів

Просочуючий склад, №	Крайовий кут змочування поверхні водою, град.	Водопоглинання, мас. %	Межа міцності, % до вихідної	
			на згин	на стиск
1	79/73	5,5/14,2		82,1
2	93/90	5,9/14,3	91,6	81,0
3	89/80	6,2/11,6	93,4	82,7
4	91/88	5,4/14,6	91,3	80,6
5	86/76	5,3/14,4	91,7	81,2
6	89/90	6,1/15,7	90,4	79,8
7	89/74	4,5/13,4	93,8	83,5
8	85/80	3,7/17,6	90,2	79,4
9	87/72	8,0/11,9	94,7	84,3
10	80/90	7,0/10,2	95,0	85,1
11	109/90	0,2/8,7	94,5	84,6

Примітка. У чисельнику дані до випробувань, а в знаменнику – після.

Водопоглинання при цьому зростає від 3,7 (склад № 8) – 8,0 мас. % (склад № 9) до 10,2 (склад № 10) – 17,6 мас. % (склад № 8). Мінімальне його збільшення (3,9 мас. %) зафіксовано при використанні рецептури № 9, а максимальне 13,9 мас. % – рецептури № 8. Однозначна кореляція між зміною крайового кута змочування поверхні водою і водопоглинанням не спостерігається.

Наслідком розвитку деструкційних процесів під дією атмосферних факторів, крім зміни об'єму поруватої структури і водовідштовхуючих властивостей просоченого вапняку, є й погіршення його фізико-механічних властивостей. Встановлено, що межа міцності на згин може зменшуватися до 10 % (при використанні рецептур № 6 і № 8). Мінімальне її зменшення до 5 % зафіксовано при використанні рецептур з гідролізатом етилсилікату (№ 9, 10), що може бути зумовлено армуючою дією останнього.

Зменшення межі міцності на стиск максимальне при застосуванні тих самих рецептур (№ 6, 8) і досягає 20 %, а мінімальне на 15–16 % зафіксовано для рецептур № 9 та 10. Тобто збільшення об'єму поруватої структури під дією атмосферних факторів може сприяти зменшенню механічної міцності просоченого вапняку.

Стосовно черепашнику, який має загальну пористість на рівні вапняку, а закриту майже в 3 рази більшу просочення забезпечує в першому випадку її рівень у межах від 20,4 % (рецептура № 5) до 34,5 % (рецептура № 8) і в другому випадку від 12,4 до 28,4 % при тих же складах.

У процесі тестувань на атмосферостійкість відзначено неоднозначну зміну об'єму загальної пористості переважно до 4 %. Виключення спостерігається для рецептур № 6 (збільшення на 13 %) та № 8 (зменшення майже на 12 %).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Характер зміни закритої пористості аналогічний загальній при значно більших кількісних відмінностях, а саме: збільшення досягає 6,5 % (рецептура № 6), а зменшення майже 17 % (рецептура № 8). Загалом її об'єм становить від 11,5 до 26,0 %.

Коефіцієнт мікропористості змінюється в межах від 0,53 – 0,86 до 0,45 – 0,99, а максимальна втрата маси досягає 1,86% при використанні рецептури №6, яка найбільш суттєво впливає на зміну пористості просоченого черепашику.

Стосовно змочуваності поверхні просоченого черепашику водою необхідно акцентувати на більш суттєвій різниці в порівнянні з вапняком після дії атмосферних факторів. Гідрофобність вихідних матеріалів складає 76 град. (рецептура № 8) – 105 град. (рецептура № 6), а після випробувань 61 град (рецептура № 5) – 95 град. (рецептура № 9). Слід зауважити, що вказані рецептури найбільш суттєво змінюють пористість черепашику в процесі тестувань (табл. 2).

Таблиця 2

Змочуваність, водопоглинання і механічна міцність просоченого силосанами черепашику після комплексної дії атмосферних факторів

Просочуючий склад, №	Крайовий кут змочування поверхні водою, град.	Водопоглинання, мас. %	Межа міцності, % до вихідної	
			На згин	На стиск
1	100/89	2,3/6,7	87,4	72,2
2	99/86	1,9/3,4	89,6	73,3
3	99/91	2,0/5,4	94,3/89,3	73,0
4	95/78	3,9/7,5	90,6/85,6	70,1
5	98/61	2,7/4,6	93,7/88,7	72,5
6	105/70	3,6/8,2	88,4/83,4	68,2
7	98/84	3,2/7,1	91,5/86,5	73,1
8	76/87	3,5/5,4	94,1/89,1	72,8
9	87/95	5,2/6,0	93,1/88,1	72,3
10	90/88	5,5/6,3	92,6/87,6	72,4
11	80/84	0,7/3,2	95,2/90,9	73,9

Примітка. У чисельнику дані до випробувань, а в знаменнику – після.

Водопоглинання просоченого силосанами черепашику однозначно зростає під комплексною дією атмосферних факторів з 1,9 (рецептура № 2) – 5,5 мас. % (рецептура № 10) до 3,4 (рецептура № 2) – 8,2 мас. % (рецептура № 6).

Внаслідок дії відмічених факторів межа міцності на згин модифікованого черепашику зменшується від 10,4 до 16,6 %, а на стиск від 26,7 до 31,8 %. Найменш ефективно застосування рецептур на основі етил- і фенілсиліконатів натрію. Для порівняння слід вказати, що зменшення міцності непросоченого черепашику в аналогічних умовах досягає відповідно 30 і 38 %.

Встановлено, що серед досліджуваних матеріалів пісковик, який має мінімальну загальну пористість, характеризується наявністю стабільних параметрів останньої як у результаті просочення, так і після тестувань.

Рівень загальної пористості у вихідному стані становить 19,3 (рецептура № 5) – 24,8 % (рецептура № 8). У результаті дії атмосферних факторів зафіксовано переважно її зменшення на 0,2 % і часткове збільшення до 0,9 %.

Закрита пористість має однозначну тенденцію до зменшення від 14,3 (склад № 1) – 19,0% (склад № 6) у вихідного просоченого пісковика до 11,2 (склад № 2) – 15,6 % (склад № 10) після випробувань. Коефіцієнт мікропористості збільшується від 0,35–0,55 до 0,49–0,97.

Втрати маси просоченого пісковика в ході тестувань становлять від 0,35 до 1,10 % і їх максимум відмічено при застосуванні рецептур, що включають суміші алкіл- і фенілсиліконатів натрію (склад № 5, 6) та їх рецептури в поєднанні з гідролізатом етилсилікату.

Просочений силосанами пісковик серед досліджуваних матеріалів має мінімальне водопоглинання у вихідному стані і після дії атмосферних факторів. Ці параметри знаходяться на рівні 0,9 (рецептури № 2, 3) – 3,9 мас.% (рецептура № 8) та 3,2 (рецептура № 8) – 4,4 мас.% (рецептура № 5, 10) (табл. 3).

Таблиця 3

Змочуваність, водопоглинення і механічна міцність просоченого силосанами пісковика після комплексної дії атмосферних факторів

Просочуючий склад, №	Крайовий кут змочування поверхні водою, град.	Водопоглинання, мас. %	Межа міцності, % до вихідної	
			На згин	На стиск
1	91/80	2,5/3,6	89,9	87,1
2	86/70	0,9/3,3	89,7	87,4
3	79/70	0,9/3,6	88,9	87,0
4	94/70	1,0/3,4	89,1	87,7
5	93/82	1,0/4,4	87,5	83,6
6	98/78	1,3/3,8	88,7	84,1
7	93/75	1/3,3	91,3	87,9
8	88/80	3,9/3,2	90,7	86,8
9	95/76	1,8/4,0	88,5	84,1
10	103/72	3,2/4,4	87,6	83,2
11	97/82	0,4/2,1	99,1	88,7

Примітка. У чисельнику дані до випробувань, а в знаменнику – після.

Відмічається при цьому досить висока однорідність значень значення крайових кутів змочування водою поверхні просоченого пісковика після дії атмосферних факторів. Різниця не перевищує 12 град., а мінімум зафіксовано при використанні складів № 3 і 4. У порівнянні з вихідними матеріалами різниця коливається в межах від 9 (склад № 2) до 32 град. (склад № 10).

Заслуговує на увагу і факт менш диференційованої зміни міцності на згин і стиск в процесі випробувань. У першому випадку спад міцності складає максимум до 12,5 % (рецептура № 5) і мінімум до 9,3 % (рецептура № 8), а в другому випадку 16,4 % (склад № 5) і 12,1 % (склад № 7). Зафіксовані дані слід розглядати на фоні зменшення міцності вихідного пісковика майже на 30 %.

Відносно атмосферостійкості просоченого туфу, який має найбільшу пористість серед досліджуваних матеріалів, слід зауважити, що його загальна пористість у процесі випробувань збільшується на 1,0–11,6 %. Виняток становить рецептура № 7. Характерно, що всі зміни останньої відбуваються в межах переважно 44–50 %.

Закрита пористість просоченого туфу під дією атмосферних факторів має тенденцію до зменшення, крім рецептур з гідролізатом етилсилікату. В першому випадку вона зменшується від 36,5 (склад № 1) – 42,4 % (склад № 2) до 24,2–35,1 % (при використанні тих самих рецептур. В останньому варіанті відзначено відносно низький її рівень для вихідних матеріалів (15,8–19,5 %), який потім зростає до 28,6–31,0 %.

Мікропористість просоченого туфу в процесі тестувань однозначно збільшується. Значення її коефіцієнта зростають від 0,33 (склад № 6) – 0,86 (склад № 3) до 0,54 (склад № 8) – 0,99 (склад № 1). Втрати маси знаходяться на рівні 1,35–2,11 %, виняток становить рецептура № 7. Для порівняння слід зауважити, що втрата маси у матеріалі без обробки кремнійорганічними сполуками знаходиться на рівні 7 %. У процесі оцінювання водовідштовхуючих властивостей поверхні просоченого туфу встановлено, що вони переважають всі інші досліджувані матеріали. У вихідному стані значення крайових кутів змочування водою його поверхні знаходяться на рівні 87–105 град., а після комплексної дії атмосферних факторів 65 (рецептура № 5) – 93 град. (рецептура № 1,3) (табл. 4).

Таблиця 4

Змочуваність, водопоглинання і механічна міцність просоченого силоксанами туфу після комплексної дії атмосферних факторів

Просочуючий склад, %	Крайовий кут змочування поверхні водою, град.	Водопоглинання, мас. %	Межа міцності, % до вихідної	
			На згин	На стиск
1	100/93	5,6/13,9	84,2	70,2
2	98/90	1,6/12,5	87,6	72,5
3	101/99	1,8/13,0	87,1	71,2
4	102/84	5,1/13,6	86,8	71,7
5	99/65	4,4/13,7	86,	72,3
6	105/90	4,4/12,0	88,1	73,4
7	102/90	5,7/12,0	88,3	73,8
8	87/86	20,0/12,2	87,9	72,8
9	98/74	12,7/16,7	89,2	73,4
10	90/90	210/15,9	89,8	74,8
11	114/91	2,6/11,6	89,5	74,6

Примітка. У чисельнику дані до випробувань, а в знаменнику – після.

Водопоглинання при цьому змінюється неоднозначно. Застосування рецептур на основі сумішей органілсиліконатів натрію і калію характеризується його збільшенням від рівня 1,6 (склад № 2) – 5,7 мас. % (склад № 7) до 12,0 (склад № 6) – 13,9 мас. % (склад № 1).

Просочуючі склади з вмістом гідролізату етилсилікату забезпечують більш високе водопоглинання вихідного туфу (12,7–21,0 мас.%), яке у процесі тестувань змінюється неоднозначно до рівня 12,2–16,7 мас. %.

Зменшення межі міцності на згин просоченого туфу після дії атмосферних факторів становить від 15,8 (склад № 1) до 10,2 % (склад № 10). Аналогічна закономірність (20,8–25,2 %) спостерігається і при зміні міцності на стиск.

Висновки і пропозиції. Порівняльний аналіз отриманих експериментальних даних оцінки стійкості до комплексної дії атмосферних факторів в лабораторних умовах просочених силоксанами пористих нерудних матеріалів дозволяє констатувати, що незважаючи на суттєві відмінності в хімічних складах, характерах та об'ємах пористості, зафіксовано певні закономірності щодо ефективності застосування просочуючих кремнійорганічних складів. Встановлено, що найвищу атмосферостійкість мають пористі нерудні матеріали, просочені трикомпонентним складом метилсиліконату калію, етил- і фенілсиліконатів натрію (склад № 7).

За рівнем водопоглинанням пористі нерудні матеріали при застосуванні найбільш ефективних кремнійорганічних складів розміщуються в ряд: туф (12 мас.%) > вапняк 911,6-11,9 (мас.%) > черепашник (3,4 мас.%) > пісковик (3,2-3,3 мас.%).

Список використаних джерел

1. Chaomin W. (1985). New field impregnation technology and its effect on the durability of PIC / W. Chaomin, X. Pefen, H. Yunbin // Gem Concrete : Practics Beijing International Symposium. (Beijing, May 14–17, 1985), pp. 1.

2. Підвищення атмосферостійкості цементобетонних матеріалів поверхневою обробкою силоксановими композиціями / П. М. Коваль, Д. Ю. Колесник, В. Г. Сиченко, А. П. Баглай // Нові технології в будівництві. – 2005. – № 1 (9). – С. 65–68.

3. Мухаметрахимов Р. Х. Исследование влияния кремнийорганических соединений на свойства фиброцементных плит / Р. Х. Мухаметрахимов, В. С. Готов // Известия КГАСУ. – 2011. – № 4 (18). – С. 254–258.

4. Варшавець П. Г. Сучасні методи захисту будівельних матеріалів від зовнішніх агресивних факторів / П. Г. Варшавець, П. В. Захарченко // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. – 2012. – Вип. 45. – С. 73–75.

5. Золотарьова О. Кремнійорганічні сполуки для гідрофобізації нерудних матеріалів / О. Золотарьова // Товари і ринки. – 2013. – № 2 (16). – С. 148–154.

6. Никитин М. К. Применение кремнийорганических материалов в реставрации памятников истории и культуры / М. К. Никитин, С. А. Шадрин // Кремнийорганические соединения и материалы на их основе. – Л. : Наука, 1984. – С. 231–238.

7. Мережко Н. Фізико-технічні властивості просочених кремнійорганічними сполуками пористих нерудних матеріалів / Н. Мережко, О. Золотарьова // Товари і ринки. – 2016. – № 2 (22). – С. 73–82.

References

1. Chaomin, W., Pefen, X., Yunbin, H. (1985). New field impregnation technology and its effect on the durability of PIC. Proceedings from *Gem Concrete: Practics Beijing International Symposium*. (Beijing, May 14–17, 1985), pp. 1.

2. Koval, P.M., Kolesnyk, D.Iu., Sychenko, V.H., Bahlai, A.P. (2005). Pidvyshchennia atmosferostiikosti tsementobetonnykh materialiv poverkhnevoiu obrobkoiu syloksanovymy kompozytsiiamy [Increasing of cement's weather resistance by surface treatment with siloxane compositions]. *Novi tekhnologii v budivnytstvi – New technologies in construction*, no. 1 (9), pp. 65–68 (in Ukrainian).

3. Mukhametrakhymov, R.Kh. & Hotov, V.S. (2011). Issledovanie vlianiia kremniorganicheskikh soedinenii na svoistva fibrotsementnykh plit [Scientific investigation of organosilicones compounds influence on fibrocement slabs characteristics]. *Izvestiia KHASU – News of KSUAE*, no. 4 (18), pp. 254–258 (in Russian).

4. Varshavets, P.H. & Zakharchenko, P.V. (2012). Suchasni metody zakhystu budivelnnykh materialiv vid zovnishnykh ahresyvnykh faktoriv [Modern methods of protection of building materials from action of external aggressive factors]. *Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika – Construction materials and sanitary equipment*. no. 45, pp. 73–75 (in Ukrainian).

5. Zolotarova, O. (2013). Kremniiorhanichni spoluky dlia hidrofobizatsii nerudnykh materialiv [Use of silicone compounds for repelling of non-metallic materials]. *Tovary i rynky – Commodities and markets*, no. 2 (16), pp. 148–154 (in Ukrainian).

6. Nyktytn, M.K., Shadryn, S.A. (1984). Primenenie kremniorganicheskikh materialov v restavratsii pamiatnikov istorii i kultury [The use of organosilicon materials in the restoration of historical and cultural monuments]. *Kremniorganicheskie soedineniia i materialy na ikh osnove – Silicon compounds and materials based on them*. Leningrad: Nauka, pp. 231–238 (in Russian).

7. Merezko, N. & Zolotarova, O. (2016). Fyzyko-tekhnichni vlastyivosti prosochenykh kremniiorhanichnymy spolukamy porystykh nerudnykh materialiv [Physical and technical properties of porous non-metallic materials saturated with silicone compounds]. *Tovary i rynky – Commodities and markets*, no. 2 (22), pp. 73–82 (in Ukrainian).

Золотарьова Оксана Григорівна – асистент кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Киото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

Золотарева Оксана Григорьевна – асистент кафедри товароведення і таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, м. Киев, 02156, Украина).

Zolotarova Oksana – assistant of Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

E-mail: zolotarovaoksana@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2534-3125>

Мережко Ніна Василівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Киото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

Мережко Нина Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

Merezko Nina – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

E-mail: neprod2@knteu.kiev.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3077-9636>

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

Шановні дописувачі!

Для подання статті необхідно спочатку надіслати на електронну адресу tst.technical.sj@gmail.com Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів) для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології».

Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість публікації і відправити весь пакет документів.

Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком;
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів;
- квитанцію (скановану) про сплату вартості публікації наукової статті;
- структуровану анотацію.

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.

**УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ ЧЕРНІГІВСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ:**

<http://tst.stu.cn.ua/>

Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Контактна особа: **Кормило Ірина Миколаївна.**

Тел. роб.: (04622) 3-42-44

Тел. моб.: (093) 592-78-12

E-mail: tst.technical.sj@gmail.com

**Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи,
що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.**

Редакція розглядає надходження публікації та супровідних документів (рецензії, довідки про авторів тощо) як згоду дописувача (ів) щодо передачі авторського права на використання твору (тиражування, розповсюдження тощо).

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (7)

Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Коректор	О.С. Смелова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко

Підписано до друку 31.01.2017. Формат 60x84/8. Друк різнографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 28,13.
Тираж 100 пр. Замовлення № 367/17.

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.