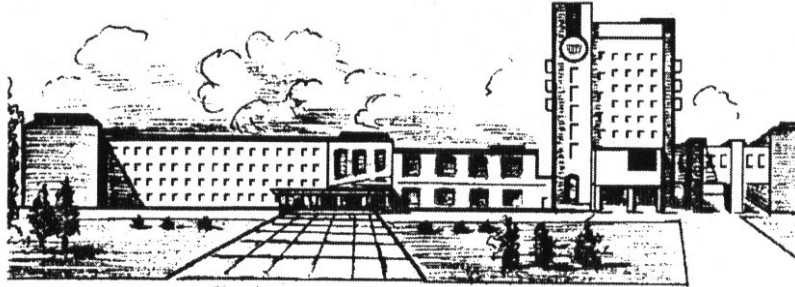


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

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



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 3 (5)

Чернігів 2016

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6
Т38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 9 від 31.10.2016 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.

Т38 **Технічні науки та технології** : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. – № 3 (5). – 282 с.

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

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

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6

Головний редактор:

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

Заступник головного редактора:

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

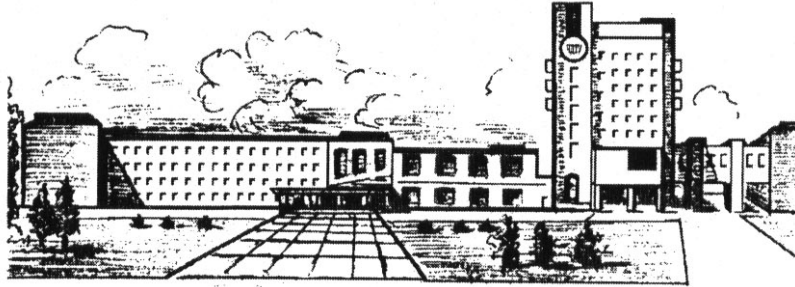
Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal "Electrical, Control and Communication Engineering", Riga Technical University, Riga, Latvia;

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

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

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

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



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 3 (5)

Chernihiv 2016

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 № 9 dated 31.10.2016). 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, 2016. – № 3 (5). – 282 p.

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

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

UDC 62:67.05
LBC 30.1:30.6

Editor in chief:

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

Deputy Editor in chief:

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

Members of the Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<i>Бурачек В., Хомушко Д., Кривоберець С., Сталінська Ю.</i> Методика дослідження кутового відхилення візирної осі зорової труби геодезичного інструменту при перефокусуванні.....	9
<i>Пилипенко О., Полуян А.</i> Послепроектная диагностика и эффективность применения методики проектирования многомассового цепного привода	15
<i>Хоменко І.</i> Гранично допустимі зазори у віброударних парах.....	23
<i>Дмитриенко Р., Палиенко А.</i> Построение действительной диаграммы деформирования на примере разнотолщинной, тонкостенной цилиндрической гильзы с днищами, изготовленной из стали 20	32

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Кальченко В., Кальченко В., Кузьельний Я.</i> Аналіз методів дослідження теплонапруженості під час процесу шліфування	43
<i>Венжега В., Рудик А., Пасов Г.</i> Особенности утилизации автомобилей відповідно до Закону України «Про утилізацію транспортних засобів»	51
<i>Космач О., Сапон С., Безручко В., Федориненко Д.</i> Експериментальне оцінювання енергоефективності привода верстатів на допоміжних переходах	58
<i>Сіра Н.</i> Модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення під час шліфування зі схрещеними осями циліндричного вала й абразивного круга	67
<i>Следнікова О.</i> Модульне моделювання профілів кругів, зняття припуску та формоутворення при двосторонньому шліфуванні торців некруглих деталей.....	76
<i>Шаповалов О., Колесник Д., Журахов О., Болотов Г.</i> Конструктивні особливості сучасних бронемашин із колісною формулою 4×4.....	85

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

<i>Казаков А., Шаповалов Г.</i> Моделирование областей сосуществования фаз в твердых растворах $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ с использованием различных термодинамических моделей.....	96
<i>Болотов М.</i> Оптимізація процесу осадження тонких металевих плівок у тліючому розряді з порожнистим катодом.....	104

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Казимир В., Посадська А.</i> Динамічна оцінка ризику виконання плану робіт методом імітаційного моделювання.....	113
<i>Литвинов В., Посадская И., Савельев М.</i> Архитектура знание-ориентированной автоматизированной системы обучения.....	122
<i>Войтенко В., Білорус І.</i> Навчальний лабораторний стенд „INEL-STM”.....	131
<i>Заріцький О.</i> Теоретичні основи стандартизації базових правил експертної системи аналітичної оцінки професійної діяльності	139
<i>Іванець С., Красножон О.</i> Дослідження роботи нейронечіткої системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача	146
<i>Крячок С., Потеруха В.</i> Експериментальні дослідження сталі електронного тахеометра в польових умовах.....	156
<i>Кунгурцев О., Ковальчук С., Поточняк Я., Широкоступ М.</i> Побудова словника предметної області на основі автоматизованого аналізу текстів українською мовою	164
<i>Недашківський Є.</i> Механізми визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання.....	175

<i>Kazymyr V., Mokrohuz A.</i> Selecting a base application layer protocol to transfer data in the client-server architecture	182
<i>Palaščáková D.</i> Methods of on-line and off-line programming in the production process.....	188
<i>Palaščáková D., Badida M.</i> Robotized workplace impact on the environment	193

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

<i>Алексеевский Д., Панкова О., Щипанский П.</i> Исследование влияния координат рабочей точки на параметры модели ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.....	198
---	-----

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Ігнатенко П., Ігнатенко О., Сапон С.</i> Аналіз якості сушіння пиломатеріалів на заключному етапі технологічного процесу сушіння.....	204
<i>Соломаха І., Жабинська А., Шевченко К.</i> Ефективність використання живильних розчинів при вологому зберіганні зрізаної гвоздики ремонтантної.....	210
<i>Федорова Д.</i> Фізико-хімічні і біохімічні показники якості сухих рибо-рослинних напівфабрикатів	217
<i>Челябиева В., Гаврик М., Литвиненко А.</i> О безопасности использования фруктово-ягодного сырья в пищевой промышленности.....	224

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<i>Коваленко О., Крәжич О.</i> Дослідження залежностей міграції тритію за ланцюгом «тала вода снігового покриву – рослина»	231
<i>Скиба М., Піоваров О., Макарова А., Воробйова В., Гнатко О.</i> Плазмохімічно оброблена вода та водні розчини для знезараження питної води	240
<i>Нехай В., Литвинов В.</i> Ретроспективний аналіз інформаційних технологій моделювання та прогнозування стану родючості ґрунту.....	247
<i>Хрищук С.</i> Методичні аспекти формування екобезпечного землекористування.....	258
<i>Романко Р.</i> Удосконалення моделей моніторингу земель, підданих впливу небезпечних природних явищ, на основі INSPIRE.....	266

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ	271
---	-----

CONTENT

SECTION I. MECHANICS

<i>Burachek V., Khomushko D., Kryvoberets S., Stalinskaya Ju.</i> Technique to study the angular deviation of the kenning glass of sighting axis of the geodesic instrument at focusing.....	9
<i>Pilipenko O., Poluyan A.</i> Afterproject diagnostics and efficiency of application of the method of multimass chain drive projecting.....	15
<i>Khomenko I.</i> Maximum possible gaps in vibroshock pairs	23
<i>Dmytriienko R., Paliienko O.</i> Building of a real diagram of deformation through the example of thin-walled cylindrical sleeve with thickness deviation with bottoms, made of steel 20.....	32

SECTION II. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT

<i>Kalchenko V., Kalchenko V., Kuzhelnyi Ya.</i> Analysis of methods of research of thermal stress during the grinding process.....	43
<i>Venzhega V., Rudyk A., Pasov H.</i> The features of the process of utilization of cars under the Law of Ukraine "On utilization of vehicles"	51
<i>Kosmach A., Sapon S., Bezruchko V., Fedorynenko D.</i> Experimental evaluation of energy efficiency of machine tool drive on auxiliary transitions	58
<i>Sira N.</i> Modular 3D-modeling of tools, processes of stock removal and shaping in grinding with crossed axes of cylindrical shaft and abrasive wheel	67
<i>Sliednikova O.</i> Modular modeling of wheels' profiles, stock removal and formation with bilateral grinding of ends of non-circular details.....	76
<i>Shapovalov O., Kolesnik D., Zhurakhov O., Bolotov G.</i> Structural features of the modern reserved machines with the wheeled formula 4×4.....	85

SECTION III. WELDING TECHNOLOGIES

<i>Kazakov A., Shapovalov H.</i> Simulation of the spaces of phase coexistence in solid solutions $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ with using of different thermodynamic models	96
<i>Bolotov M.</i> Optimization of the deposition process of thin metal films in glow discharge with hollow cathode	104

SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Kazymyr V., Posadska A.</i> Dynamic risk assessment of the work plan implementation by simulation modeling.....	113
<i>Lytvynov V., Posadska I., Saveliev M.</i> Architecture of knowledge-oriented automated system of learning.....	122
<i>Voytenko V., Bilorus I.</i> INEL-STM education board.....	131
<i>Zaritskyi O.</i> Theoretical basis of standardizing of basic rules of expert system of professional activity analytical estimation	139
<i>Ivanets S., Krasnozhon O.</i> The study of work of neuro fuzzy system of tracking the point of maximum power of photovoltaic inference	146
<i>Kryachok S., Poterukha V.</i> Experimental study of the constant of an electronic tachometer in the field conditions.....	156
<i>Kungurtsev A., Kovalchuk S., Potochniak Ia., Shirokostup M.</i> Creating the domain vocabulary on the basis of automated analysis of Ukrainian texts	164
<i>Nedashkivskiy Ye.</i> The mechanisms for determining fractality in terms of linguistic modeling.....	175
<i>Kazymyr V., Mokrohuz A.</i> Selecting a base application layer protocol to transfer data in the client-server architecture	182

<i>Palaščáková D.</i> Methods of on-line and off-line programming in the production process.....	188
<i>Palaščáková D., Badida M.</i> Robotized workplace impact on the environment	193

SECTION V. POWER ENGINEERING

<i>Alekseevskiy D., Pankova O., Shchipanskiy P.</i> Research of operating point coordinate influence on the parameters of a wind turbine model with aerodynamic multiplication	198
--	-----

SECTION VI. TECHNOLOGIES OF WOODWORKING, LIGHT AND FOOD INDUSTRY

<i>Ihnatenko P., Ihnatenko E., Sapon S.</i> Analysis of quality of drying of saw-timbers on the final stage of technological process of drying	204
<i>Solomakha I., Zhabynska A., Shevchenko K.</i> Efficiency of applying of nutrient solution for wet storage of cut carnations remountant.....	210
<i>Fedorova D.</i> Physicochemical and biochemical parameters of dry fish&plant semi-product quality	217
<i>Cheliabiieva V., Havryk M., Lytvynenko A.</i> Safety use of fruit and berries in food production	224

SECTION VII. TECHNOLOGIES OF LABOUR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

<i>Kovalenko O., Kryazhych O.</i> Research of dependencies of migration of tritium in the chain “melting water of the snow cover – plant”	231
<i>Skiba M., Pivovarov A., Makarova A., Vorobyova V., Gnatko E.</i> Plasma-chemical discharge treated water and water solutions for drinking water disinfection.....	240
<i>Nekhai V., Litvinov V.</i> Retrospective analysis of information technologies of modelling and forecasting of soil fertility state	247
<i>Khryshchuk S.</i> Methodical aspects of forming ecologically safe land-tenure	258
<i>Romanko R.</i> Improving monitoring models of lands affected by natural hazards on INSPIRE basis	266

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES.....	271
---	------------

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

УДК 528.5:681.78

Всеволод Бурачек, Дмитро Хомушко, Сергій Кривоберець, Юлія Сталінська

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОВОГО ВІДХИЛЕННЯ ВІЗИРНОЇ ОСІ ЗОРОВОЇ ТРУБИ ГЕОДЕЗИЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ПЕРЕФОКУСУВАННІ

Всеволод Бурачек, Дмитрий Хомушко, Сергей Кривоберец, Юлия Сталинская

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛОВОГО ОТКЛОНЕНИЯ ВИЗИРНОЙ ОСИ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПЕРЕФОКУСИРОВКЕ

Vsevolod Burachek, Dmytro Khomushko, Serhiy Kryvoberets, Julia Stalinskaya

TECHNIQUE TO STUDY THE ANGULAR DEVIATION OF THE KENNING GLASS OF SIGHTING AXIS OF THE GEODESIC INSTRUMENT AT FOCUSING

Проведено аналіз існуючих способів та засобів дослідження руху фокусувального компонента зорової труби геодезичних приладів. Розглянуто переваги та недоліки польових та лабораторних схем. Визначено, що загальним недоліком є відсутність автоматизації технологічних процесів дослідження внаслідок застосування візуальних контрольних систем.

Ключові слова: кутове відхилення візирної осі, фокусувальний компонент зорової труби, геодезичні прилади, візуальні контрольні системи.

Рис.: 4. Бібл.: 6.

Проведен анализ существующих способов и средств исследования движения фокусирующего компонента зрительной трубы геодезических приборов. Рассмотрены преимущества и недостатки полевых и лабораторных схем. Определено, что общим недостатком является отсутствие автоматизации технологических процессов исследования вследствие применения визуальных контрольных систем.

Ключевые слова: угловое отклонение визирной оси, фокусирующий компонент зрительной трубы, геодезические приборы, визуальные контрольные системы.

Рис.: 4. Библ.: 6.

An analysis of existing ways and means of research of movement focusing component's telescope geodetic instruments' is carried out in this article. The advantages and disadvantages of field and laboratory schemes' are considered. It was found that a common drawback is the lack of automation of technological processes of research due to the use of visual control systems.

Key words: angular deviation of the line of sight, component focusing telescope, surveying instruments, visuals control systems.
Fig.: 4. Bibl.: 6.

Постановка проблеми. У геодезичній практиці під час виконання деяких робіт (визначення прямолінійності, нівелювання через річку) доводиться фокусувати зорову трубу на різновіддалені цілі, при цьому для чіткого зображення предметів (рейок, марок тощо) спостерігач, за допомогою кремальєрного гвинта, переміщує фокусувальний компонент (лінзу), який повинен рухатися вздовж оптичної осі так, щоб лінія візування залишалася незмінною. На практиці механізм переміщення не є ідеальним.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У результаті вищепри описаного фокусувальний компонент буде мати зміщення, що викликатиме похибки у відліках. У таких випадках розглянуто похибку потрібно виключити або мінімізувати, що можливо при заздалегідь визначеній непрямолінійності лінії візування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Причини, що викликають неправильність руху фокусувального компонента, такі [1]:

- зазори між нерухомими напрямними та рухомою оправою лінзи;
- нерівномірний розподіл і забруднення мастила;
- зношення деталей фокусувального компонента у процесі експлуатації приладу;
- зміна параметрів деталей фокусувального компонента внаслідок зміни температури навколишнього середовища;
- зміщення сітки ниток з оптичної осі об'єктива тощо.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є виконати аналіз існуючих способів та засобів дослідження руху фокусувального компонента зорової труби геодезичних приладів, їх порівняльну оцінку, визначити переваги та недоліки, зробити висновки щодо можливості їх подальшого удосконалення.

Виклад основного матеріалу. Формально зміну положення візирної осі α'' можна визначити за формулою

$$\alpha'' = \frac{f' - f_1'}{f' \cdot f_1'} y \rho'',$$

де f' – еквівалентна фокусна відстань телеоб'єктива; y – зміщення головної точки фокусувальної лінзи з оптичної осі; f_1' – фокусна відстань додатної компоненти телеоб'єктива. Але фактично за цією формулою визначити α'' не можливо, оскільки величина y невідома. Крім того, для кожного приладу значення y не однакові.

Для вирішення цієї проблеми було розроблено відповідні польові та лабораторні способи дослідження руху фокусувального компонента.

Польові способи та засоби.

Роботу фокусувального компонента зорової труби теодоліта (тахеометра) перевіряють за допомогою спостереження різновіддалених візирних цілей при двох положеннях вертикального круга. Про її правильність судять за зміною значень колімаційної похибки і місця нуля (місця зеніту), що отримують за результатами вимірювань кожної цілі, одна з яких повинна знаходитися у «нескінченності» за формулами:

$$\Delta c_j = c_j - c_\infty;$$

$$\Delta MO = MO_j - MO_\infty,$$

де індекси j і ∞ відносяться до кінцевих відстаней і «нескінченності» відповідно.

Візирні цілі повинні знаходитись на одній висоті в межах $\pm 0,5^\circ$ з відхиленням від створу не більше $\pm 0,3^\circ$. Як цілі рекомендується використовувати візирні марки, сітки ниток коліматорів, що імітують різну віддаленість цілей, при цьому виникають труднощі одночасного задоволення умов їх розташування, точності вимірювань і зручності виконання перевірки.

Дослідження руху фокусувального компонента зорової труби нівеліра проводять за допомогою власне нівеліра, що досліджується, та рейок на відкритій місцевості, при цьому вимірюють перевищення між точками, що розташовані по колу, спочатку при однакових плечах (нівелір встановлюють у центрі кола, т. С), а потім при різних плечах (нівелір встановлюють на колі, поблизу першої точки, т. А) (рис. 1) [2]. Далі знаходять середні відліки при нівелюванні з точок С та А і визначають перевищення між точками 1, 2, ..., 7. За різницею перевищень, отриманих з точки С та А, визначають похибку внаслідок перефокусування.

До переваг наведених польових способів слід віднести те, що вони не потребують додаткового обладнання, проводяться за допомогою геодезичних приладів і приладь, які завжди є в геодезичній організації і їх можливо застосовувати для дослідження сучасних цифрових нівелірів [3]. Але також слід відзначити і недоліки, до яких можна віднести трудомісткість дослідження, залеж-

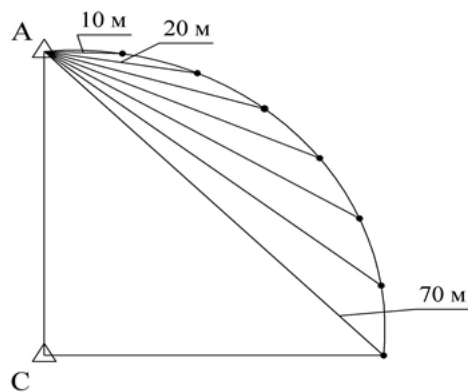


Рис. 1. Схема розташування нівеліра – Δ і рейок – •

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ність точності дослідження від погодних умови (дощ, сніг), а також і те, що на точність вимірювань будуть впливати похибки, викликані зовнішнім середовищем (рефракція, вплив температури на осьові системи нівеліра тощо).

Лабораторні способи та засоби.

Найбільш простим способом, що виключає вплив зовнішніх умов на виконання дослідження, є коліаторний. Для його реалізації використовується коліатор, обладнаний одночасно декількома (за числом відстаней, що імітуються), сітками ниток – блоком сіток ниток, які розташовані одна за одною вздовж оптичної осі коліатора [4; 5]. Товщина ниток l_k визначається виходячи зі зручності візування сіток ниток приладу, що контролюється:

$$l_k = \frac{f_k \alpha_n}{\rho},$$

де f_k – фокусна відстань коліатора; α_n – кутова відстань бісектора сіток ниток приладу, що контролюється.

Одна із сіток встановлюється у фокальній площині коліатора P_F і імітує «нескінченність» (рис. 2). Інші встановлюються на відстанях Δf_i від фокальної площини залежно від відстані, що імітується. Значення Δf_i визначається за формулою

$$\Delta f_i = \frac{f_k^2}{L_i + f_k}.$$

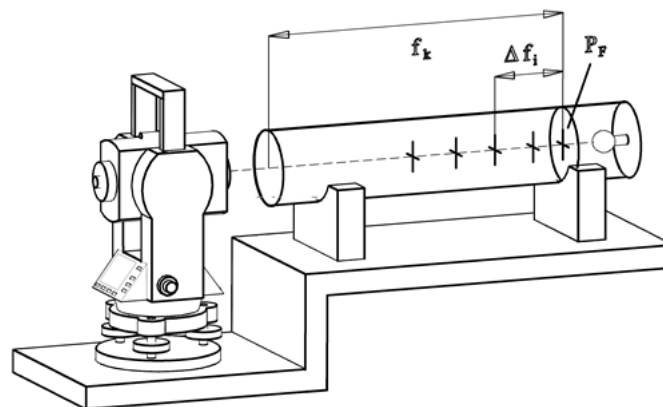


Рис. 2. Схема коліаторного пристрою з блоком сіток ниток

Визначити місцезнаходження кожної сітки ниток можна також і дослідним шляхом. Для цього зорова труба попередньо фокусується на потрібну відстань по встановленій цілі, а потім наводиться на коліатор. Переміщуючи сітку ниток коліатора добиваються чіткого видимого її зображення через трубу приладу, що контролюється. Таким чином послідовно встановлюють всі нитки коліатора.

Інколи еталонним коліатором є візирна труба з внутрішнім фокусуванням, що має візирну лінію і попередньо досліджена тим або іншим способом. Сітка труби, що контролюється, підсвічується [6]. Осі обох труб суміщаються, а їх об'єктиви встановлюють один проти одного. Коліаторний спосіб із фокусуванням зображення був покладений в основу пристрою ЛОМО. Його оптична схема представлена на рис. 3 і складається з труби 2, що контролюється, яка фокусується за допомогою кремальєрного гвинта 1, допоміжного об'єктива 3, конденсора 5, сітки 4 з індексом, світлодільного кубика 7, дзеркала 6, що переміщується по точним напрямним, положення якого контролюється автоколімаційною трубкою 8.

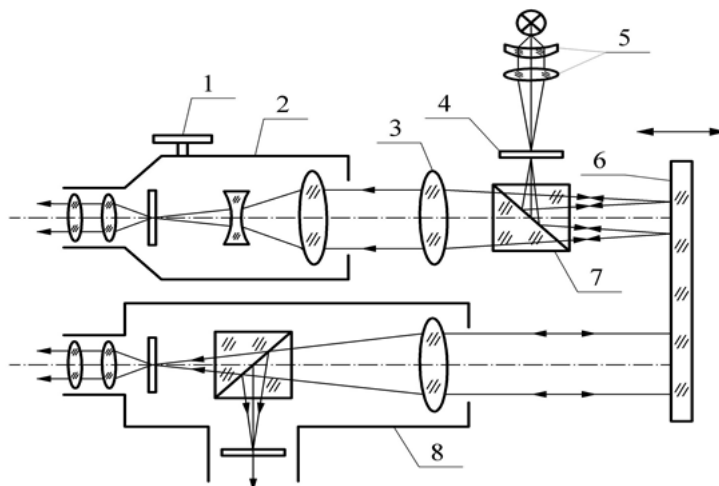


Рис. 3. Схема пристрою ЛОМО для контролю зміщення візирної осі з рухомих дзеркалом

Уявні зображення індексу сітки 4, що підсвічується джерелом світла через конденсор 5, створюються об'єктивом 3 і завдяки переміщенню дзеркала 6 знаходяться на різних відстанях від об'єктива труби, що досліджується 8, охоплюють весь діапазон її візирних відстаней. Прямолінійність переміщення дзеркала 6 контролюється автоколімаційною трубкою. Таким чином утворюється пряма з точок уявних зображень індексу сітки 4, з якою порівнюють візирну лінію труби, що контролюється. Для цього при різних відстанях уявного зображення індексу сітки 4 суміщають його з перехресттям сітки ниток труби, що досліджується, знімаючи відповідні відліки за допомогою мікрометра труби або додаткового мікрометра. Після оброблення результатів вимірювань будують графік зміщення візирної осі внаслідок перефокусування. Точність пристрою залежить від прямолінійності переміщення дзеркала 6.

У пристрої ЛОМО як об'єктив 3 використовується об'єктив з $f' = 480$ мм, автоколіматорна труба АКМ-1000 з ціною поділки 0,25", мікрометр з ціною поділки 1,8 мкм.

Недоліком такої схеми вимірювання є складність пристрою, що потребує наявності високоточного контролю переміщення дзеркала за допомогою коліматора, непостійність збільшення для різних відстаней.

Коліматорний спосіб визначення зміщення візирної осі при перефокусуванні забезпечує точність і надійність тільки при постійному збільшенні еталонної труби для всього діапазону візирних відстаней, тому що при цьому, на думку автора [4], повністю виключається похибка взаємної установки візирних осей труб для фокусування на «нескінченність».

Схема такого пристрою представлена на рис. 4. Зображення індексу сітки 7, що підсвічується джерелом світла 8 і конденсором 9, передається світлоділним кубиком 12 на фокусуючу систему Івона з призмою БкР-180 10 й опорним дзеркалом 11. За допомогою телескопічної системи Галілея і Кеплера з об'єктива 5 й окуляра 6 це зображення переноситься об'єктивом 2 і фокусуючою лінзою 1 труби, що досліджується, у площину сітки ниток. Для визначення його зміщення відносно сітки ниток слугує мікрометр, який складається з плоскопаралельних пластинок 3 і 4, що повертаються при вимірюванні навколо взаємоперпендикулярних осей обертання.

Дослідження установки дозволили отримати емпіричні формули, що визначають похибки визначення зміщення візирної лінії зорових труб при перефокусуванні в мікрометрах.

Для відстаней візування 0,5–5 м формула має вигляд

$$\delta = \pm (2,5 + 1,3L) \text{ мкм} .$$

Для відстаней візування 0,5–15 м

$$\delta = \pm(2,5 + 1,5L) \text{ мкм},$$

де L – відстань до марки, на яку візують, м.

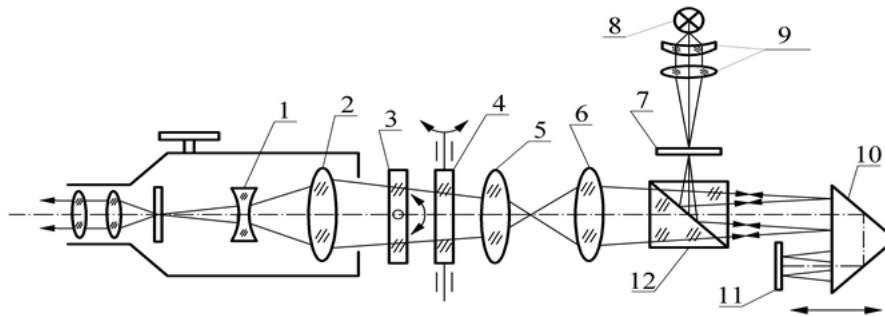


Рис. 4. Схема пристрою для контролю зміщення візирної осі з оптичною системою Івона

Таким чином, розглянуті лабораторні способи та засоби є найбільш універсальними, їх можливо застосовувати для дослідження руху фокусувального компонента зорової труби як теодолітів (тахеометрів) та і нівелірів (оптичного, цифрового) у сприятливих умовах без виїзду на місцевість, що зменшує трудозатрати та затрати часу.

Висновки і пропозиції. У статті розглянуто основні способи та засоби дослідження руху фокусувального компонента зорової труби геодезичних приладів.

Безперечно, польові способи та засоби, попри складність, тривалість та залежність вимірювань від погодних умов, будуть актуальними в геодезичному виробництві під час проведення робочих перевірок: такі дослідження доцільно проводити в міжсезонний (міжповірочний) період, перед початком роботи з геодезичними приладами, після довготривалого транспортування, у випадках, коли виникли сумніви у прямолінійності руху фокусувального компонента безпосередньо під час проведення вимірювань на об'єкті, а транспортування їх до сервісного центру є неможливим або не доцільним.

При цьому лабораторні способи та засоби більш підходять для проведення періодичного метрологічного обслуговування геодезичних приладів у спеціалізованих центрах, коли перевіряються його основні характеристики, в тому числі і дослідження прямолінійності руху фокусувального компонента зорової труби.

Серед лабораторних коліматорних схем найбільш розповсюдженою (завдяки простоті конструкції) є схема з блоком сіток ниток, а найбільш досконалою схемою виглядає схема з фокусувальною системою (система Івона), яка дозволяє імітувати різні відстані візирних цілей, при цьому з'являється можливість виконати дослідження на всьому діапазоні роботи фокусувального компонента приладу, що досліджується. Загальним же недоліком наведених засобів є необхідність здійснювати візуальні відліки, що унеможливує автоматизацію вимірювань та вносить у їх результати особисту похибку оператора.

Водночас розвиток і вдосконалення геодезичних приладів, перехід від оптичних до оптико-електронних вимірювань у свою чергу потребує і вдосконалення способів та засобів контролю їх метрологічних характеристик, серед яких пріоритетним є автоматизація операцій перевірки.

З розвитком технологій перспективними вважаються способи і засоби, в яких як аналізатор зображення будуть застосовуватися багатоелементні фотоприймачі (ПЗЗ-матриці), що дозволить позбутися візуальних способів контролю, підвищити точність та автоматизувати контроль.

Список використаних джерел

1. *Островский А. Л.* Геодезическое прибороведение / А. Л. Островский, Д. И. Маслич, В. Г. Гребенюк. – Львов : Высшая школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1983. – С. 181–186.
2. *Островський А. Л.* Геодезія : [підручник для вузів] / А. Л. Островський, А. І. Мороз, В. Л. Гарнавський. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. – Ч. 2. – С. 53–60.

3. Перій С. С. Дослідження ходу фокусувальної лінзи нівеліра діни 22 / С. С. Перій, І. Ф. Рій // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – № 75. – С. 58–61.
4. Зимин В. М. Коллиматор для проверки работы фокусирующей линзы трубы теодолита / В. М. Зимин // Геодезия и картография. – 1984. – № 7. – С. 17–18.
5. МПУ 164/01-2003. Инструкция. Нивелиры, теодолиты, тахеометры (угломерная часть). Методика поверки. – Введ. 2003-05-23. – К. : ГП «Укрметртестстандарт», 2003.
6. Апенко М. И. Оптические приборы в машиностроении : справочник / [М. И. Апенко, И. П. Араев, В. А. Афанасьев та ін.]. – М. : Машиностроение, 1974. – 238 с.

References

1. Ostrovskiy, A.L., Maslich, D.I., Grebenyuk, V.G. (1983). *Geodezicheskoe priborovedenie [Geodetic management of instruments]*. Lvov: Vysshaya shkola. Izd-vo pri Lvov. un-te, pp. 181–186 (in Russian).
2. Ostrovskiy, A.L., Moroz, A.I., Tarnavskiy, V.L. (2007). *Heodeziia [Geodesy]*. Lviv: NU «Lvivska politehnika», part 2, pp. 53–60 (in Ukrainian).
3. Perii, S.S., Rii, I.F. (2011). Doslidzhennia khodu fokusuvalnoi linzy nivelira dini 22 [Research of motion of focusing lenses leveling dini 22]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, no. 75, pp. 58-61 (in Ukrainian).
4. Zimin, V.M. (1984). Kollimator dlya proverki raboty fokusiruyushey linzy truby teodolita [The collimator to check the operation of focusing lens theodolite pipe]. *Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography*, no. 7, pp. 17–18 (in Russian).
5. MPU 164/01-2003. *Instruktsiya. Niveliryi, teodolityi, taheometryi (uglomernaya chast). Metodika poverki. [Instructions. Levels, theodolites, total stations (azimuth part). Methods of verification]* (2003). Vved. 2003-05-23. Kiev: GP «Ukrmetrteststandart» (in Russian).
6. Apenko, M.I., Araev, I.P., Afanasev, V.A. et al. (1974). *Opticheskie priboryi v mashinostroenii. Spravochnik [Optical instruments in mechanical engineering. Directory]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).

Бурачек Всеволод Германович – доктор технічних наук, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет, лауреат Державної премії СРСР (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Бурачек Всеволод Германович – доктор технических наук, профессор кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет, лауреат Государственной премии СССР (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Burachek Vsevolod – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology, USSR State Prize Laureate (4 Belova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vbur2008@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7479-0437>

Хомушко Дмитро Валерійович – інженер-геодезист ПП «Елітзем» (вул. П'ятницька, 53, кв. 43, м. Чернігів, 14000, Україна).

Хомушко Дмитрий Валерьевич – инженер-геодезист ЧП «Елитзем» (ул. Пятницкая, 53, кв. 43, г. Чернигов, 14000, Украина).

Khomushko Dmytro – engineer-geodesist PP «Elitzem» (43 Apt., 53 Pyatnitskaya Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: dmnizcn@gmail.com

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).

Kryvoberets Serhiy – 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: N-2859-2016

Сталінська Юлія Олександрівна – магістр кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Сталинская Юлия Александровна – магістр кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Stalinskaya Julia – master of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

Олег Пилипенко, Анатолий Полуян

ПОСЛЕПРОЕКТНАЯ ДИАГНОСТИКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОМАССОВОГО ЦЕПНОГО ПРИВОДА

Олег Пилипенко, Анатолий Полуян

ПІСЛЯПРОЕКТНА ДІАГНОСТИКА Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОМАСОВОГО ЛАНЦЮГОВОГО ПРИВОДА

Oleg Pilipenko, Anatolii Poluyan

AFTERPROJECT DIAGNOSTICS AND EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE METHOD OF MULTIMASS CHAIN DRIVE PROJECTING

Обоснована ефективність розробанного методу расчёта и проектного построения многомассовых цепных приводов с помощью послепроектной сравнительной диагностики программным комплексом "SolidWorks".

Ключевые слова: методика проектирования, многомассовый цепной привод, послепроектная сравнительная диагностика, эффективность.

Рис.: 10. Табл.: 2. Библ.: 3.

Обґрунтовано ефективність розробленого методу розрахунку та проектної побудови багатомасових ланцюгових приводів за допомогою післяпроектної порівняльної діагностики програмним комплексом "SolidWorks".

Ключові слова: методика проектування, багатомасовий ланцюговий привод, післяпроектна порівняльна діагностика, ефективність.

Рис.: 10. Табл.: 2. Бібл.: 3.

Efficiency of the worked out method of calculation and project construction of multimass chain drives is reasonable by means of afterproject of comparative diagnostics by a programmatic complex "SolidWorks".

Key words: methodology of projecting, multimass chain drive, afterproject comparative diagnostics, efficiency.

Fig.: 10. Tabl.: 2. Bibl.: 3.

Постановка задачи и цель статьи. Проведём послепроектную сравнительную диагностику результатов расчёта и проектирования многомассовой цепной передачи с помощью разработанного программного продукта «Расчёт *n*-массовой цепной передачи» [1], используя программный комплекс «SolidWorks».

Пример расчёта и оптимального подбора параметров многомассовой цепной передачи. Перед инженером-конструктором поставлено, например, такое задание: рассчитать и подобрать оптимальные параметры цепной передачи, имея такие начальные данные (воспользуемся данными, отвечающими начальным экспериментальным данным натурального и компьютерного исследований, рассмотренных в [2]): количество звёздочек в контуре (4); способ смазки цепи (без смазки); частота вращения ведущей звёздочки (300 мин^{-1}); динамическая нагрузка цепного контура (спокойная нагрузка); тип цепи, ее обозначение (ПР-19,05-3180 по ГОСТ 13568-97); количество зубьев звёздочек (18, 18, 17, 18); координаты расположения звёздочек (0;0__374,35;59,5__543,75;-62,27__662,76;-172,02); расположение звёздочек в цепном контуре (в середине контура; в середине контура; извне; в середине контура); смещение центров дуг впадин звёздочек (со смещением); тип звёздочек (ведущая; натяжная; натяжная; ведомая).

Для решения поставленной задачи используем такие расчётные блоки:

- «Расчёт по известному числу зубьев звёздочек и шагу цепи»;

- «Расчёт по известной мощности двигателя и частотам вращения звёздочек».

Введем начальные данные в расчётный блок «Расчёт по известному числу зубьев звёздочек и шагу цепи» (рис. 1), поскольку нам не достаточно данных для подбора сразу оптимальных параметров передачи.

Рассмотрим результаты расчёта (рис. 2), а также результат графического построения цепного контура (рис. 3), перейдя на соответствующие закладки расчётного блока.

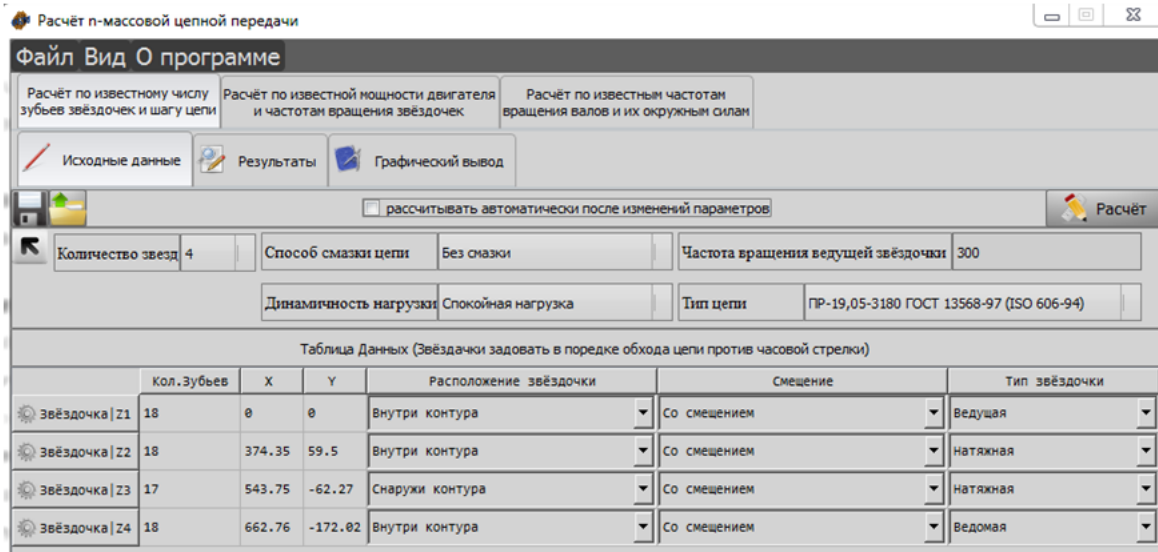


Рис. 1. Введённые в расчётный блок исходные данные

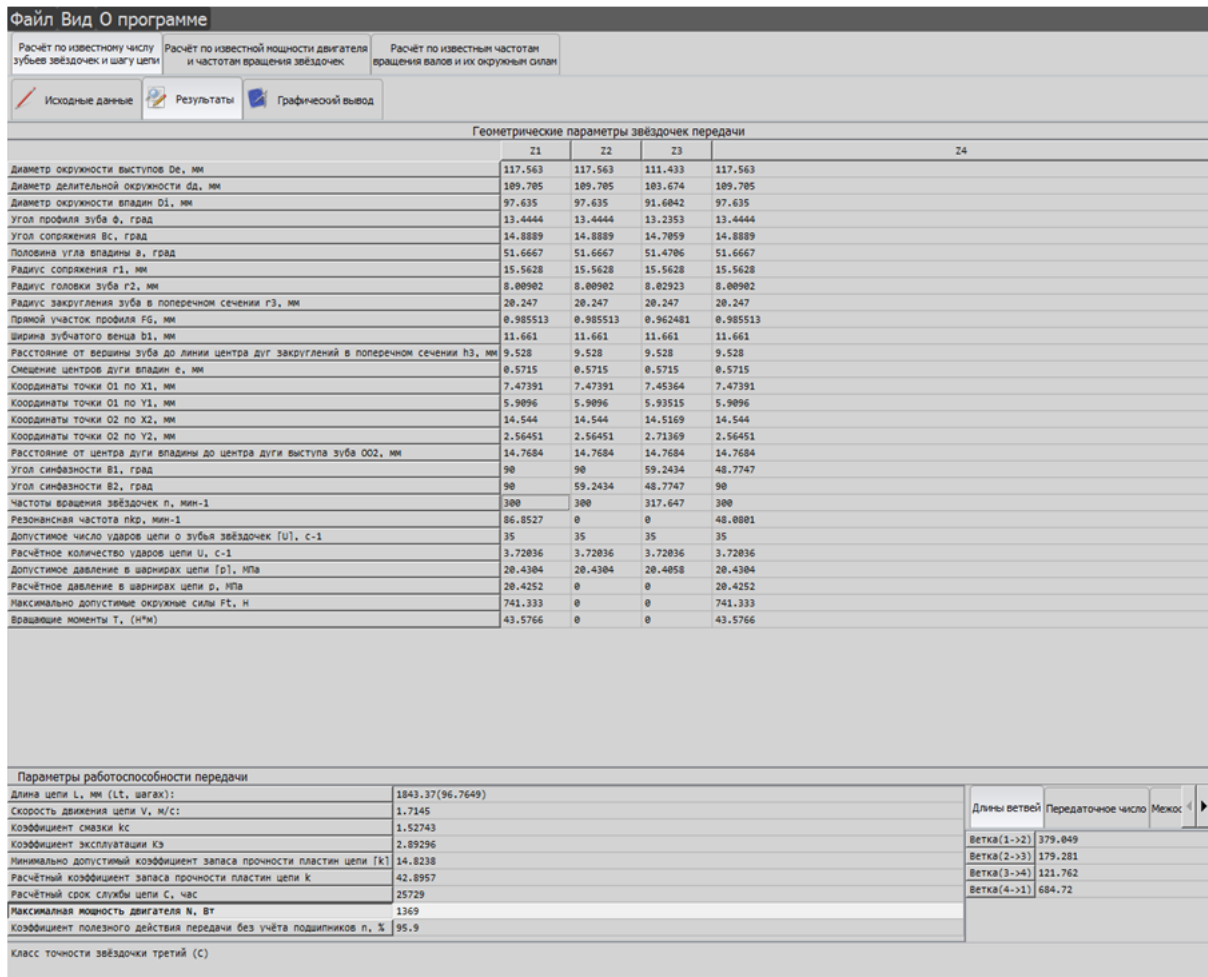


Рис. 2. Результаты расчёта

Как видим из рис. 2, расчётный блок выводит геометрические параметры звёздочек и параметры работоспособности заданной цепной передачи, которая является зеркальным отображением экспериментального стенда [3] (по умолчанию ведущая звёздочка указывается первой). На рис. 3 чётко построен цепной контур передачи, а также отображены параметры звёздочки (как пример – ведущая звёздочка).

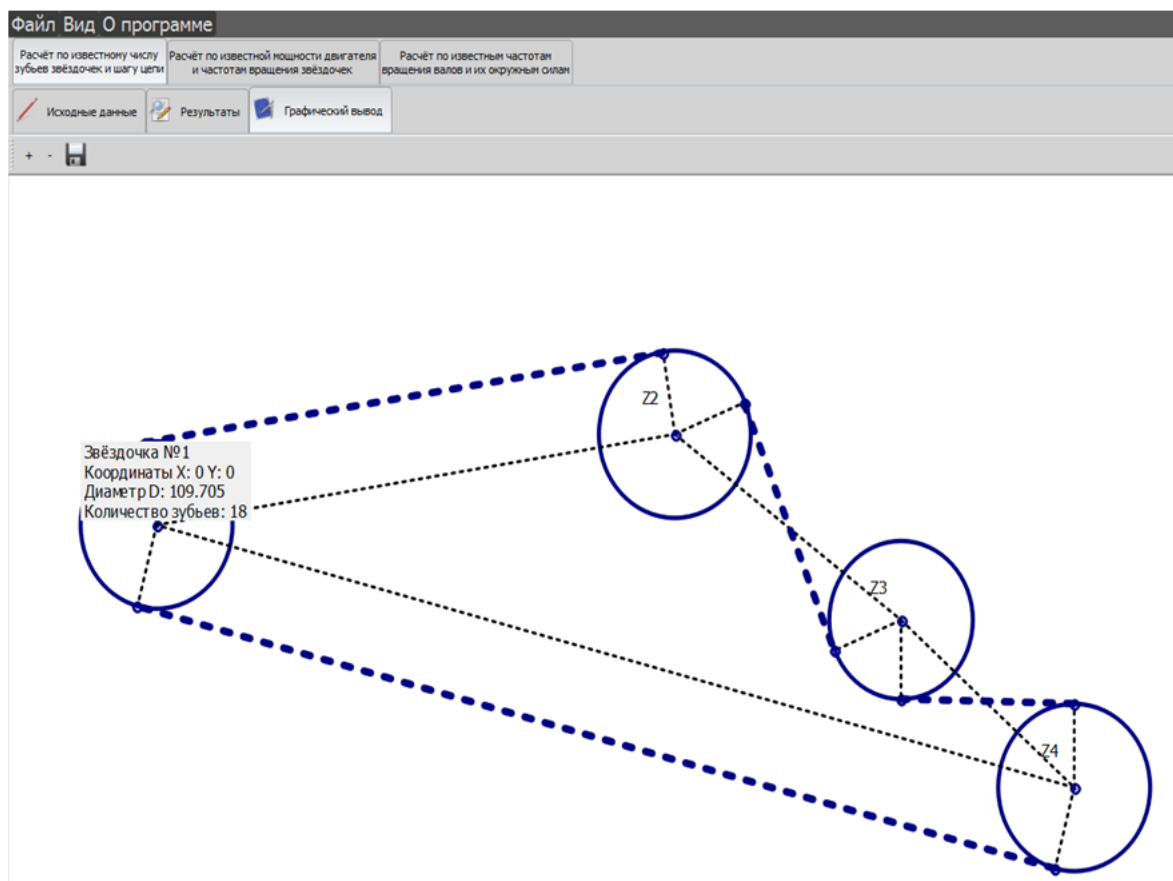


Рис. 3. Графическое построение цепного контура передачи

Для выполнения следующего задания по оптимальному подбору параметров передачи применим следующий расчётный блок «Расчёт по известной мощности двигателя и частотам вращения звёздочек» (рис. 4), используя результаты расчета предыдущего расчетного блока (рис. 2):

- максимальную мощность двигателя N , Вт (1369 Вт);
- частоты вращения звёздочек n , мин^{-1} (300; 300; 317,647; 300).

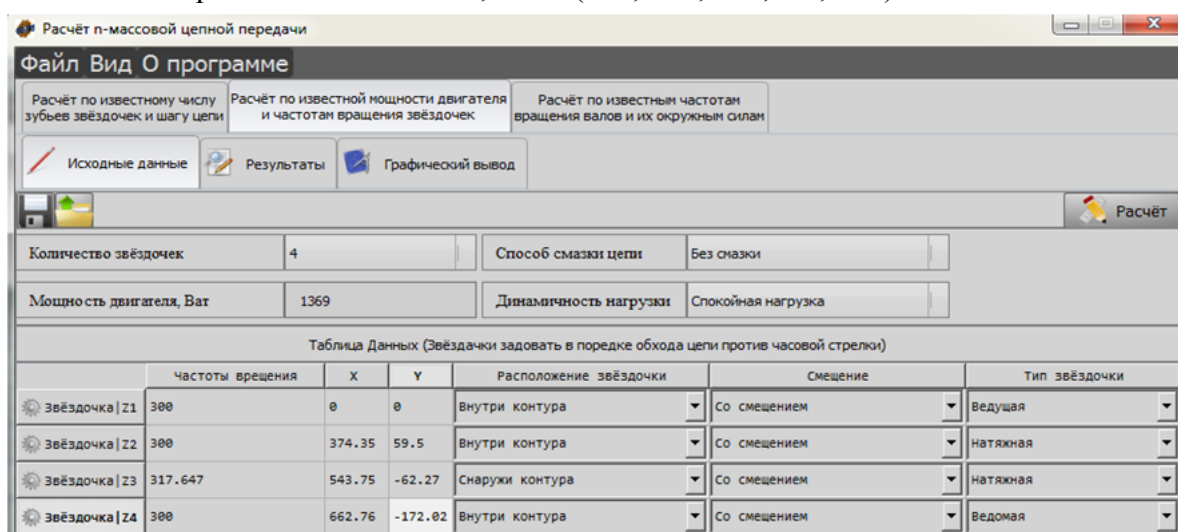


Рис. 4. Введённые в расчётный блок исходные данные

Рассмотрим результаты (рис. 5) и графическое построение (рис. 6) оптимального варианта реализации цепной передачи.

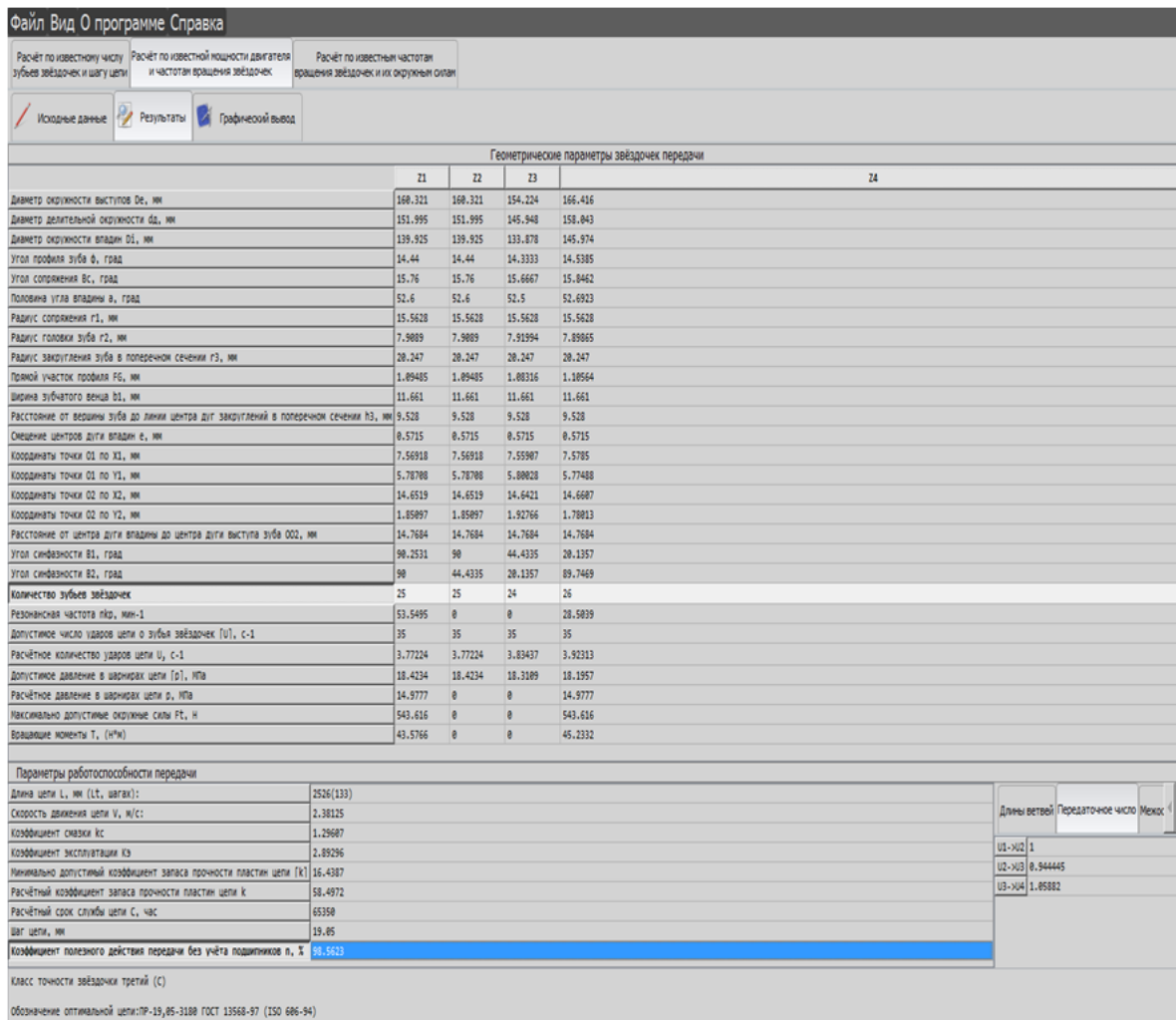


Рис. 5. Результаты оптимального варианта реализации цепной передачи

При использовании второго расчётного блока были подобраны оптимальные параметры многомассовой цепной передачи, обеспечивающие намного больший срок службы цепи (25 729 часов (рис. 2); 65 350 часов (рис. 5)) и больший коэффициент полезного действия (95,9 % (рис. 2); 98,56 % (рис. 5)) при равных условиях эксплуатации.

Далее, используя 3D-модели экспериментального стенда [3], построим новую 3D-модель этого же стенда, но уже с подобранными оптимальными параметрами многомассовой цепной передачи (рис. 7), соответствующими результатам оптимального варианта её реализации (рис. 5, 6).

Охарактеризуем движение 3D-модели цепного привода по времени:

- от 0 до 0,3 секунды ведущая звёздочка передачи постепенно набирает частоту вращения (0–300 мин⁻¹);
- от 0,3 до 3,7 секунд осуществляется установившийся режим работы цепной передачи;
- от 3,7 до 4 секунд ведущая звёздочка постепенно уменьшает свою частоту вращения (300–0 мин⁻¹).

Заметим, что количество экспериментальных точек составляет 285 в течение 1с исследования движения, а общее количество точек – 1140, что соответствует 60 кадрам в секунду. Программный комплекс “SolidWorks” имеет возможность повысить точность расчёта до 1 000 000 000 кадров в секунду.

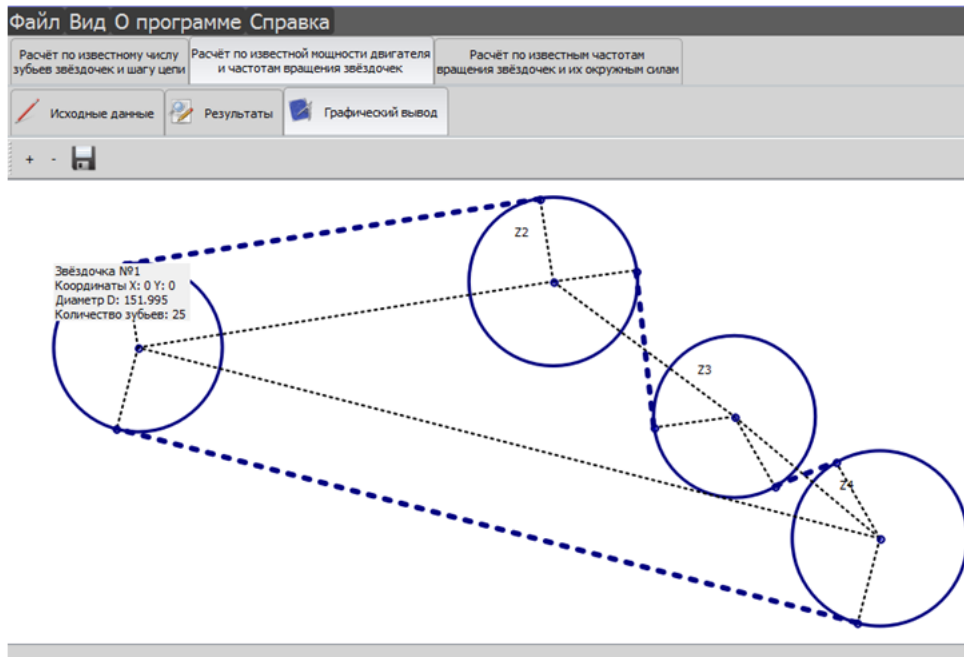


Рис. 6. Графическое построение оптимального варианта реализации цепной передачи

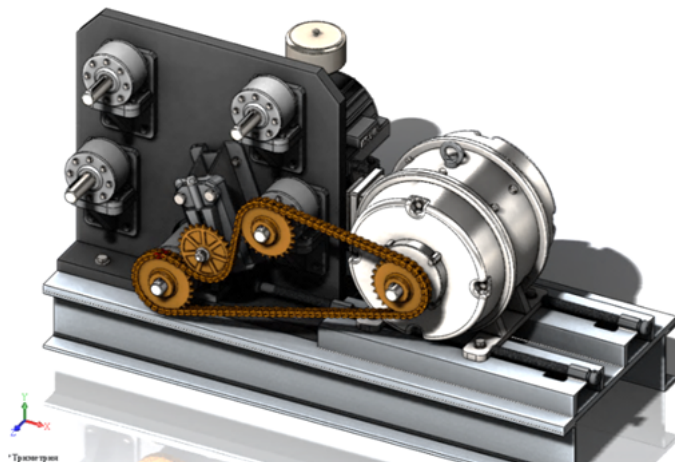


Рис. 7. 3D-модель многомассового цепного привода с подобранными оптимальными параметрами передачи

Отообразим результаты исследования:

- силу, действующую на шарнир цепи (рис. 8);
- импульс силы шарнира по оси Y (рис. 9);
- необходимую мощность двигателя привода (рис. 10).

На рис. 8, 9, 10: М – в металлическом исполнении, П – в полимерном исполнении, П+О – оптимизированная цепная передача в полимерном исполнении.

Из графиков (рис. 8) видно, что шарнир оптимизированной цепной передачи проходит большее количество периодов и имеет меньшее значение силы, действующей на него, сравнительно с шарнирами в металлическом и полимерном исполнении передачи.

Поскольку сила, действующая на шарнир оптимизированной передачи, меньше, то и мощность, затрачиваемая на движение цепного контура, также должна быть меньшей, что и подтверждают средние значения необходимой мощности двигателя привода (рис. 10).

Значения импульса силы (количества движения) шарнира по оси Y также меньше в оптимизированной цепной передаче (рис. 9), что характеризует инерционность передачи, то есть для изменения направления вращения необходимо приложить меньшие усилия сравнительно с металлическим исполнением передачи.

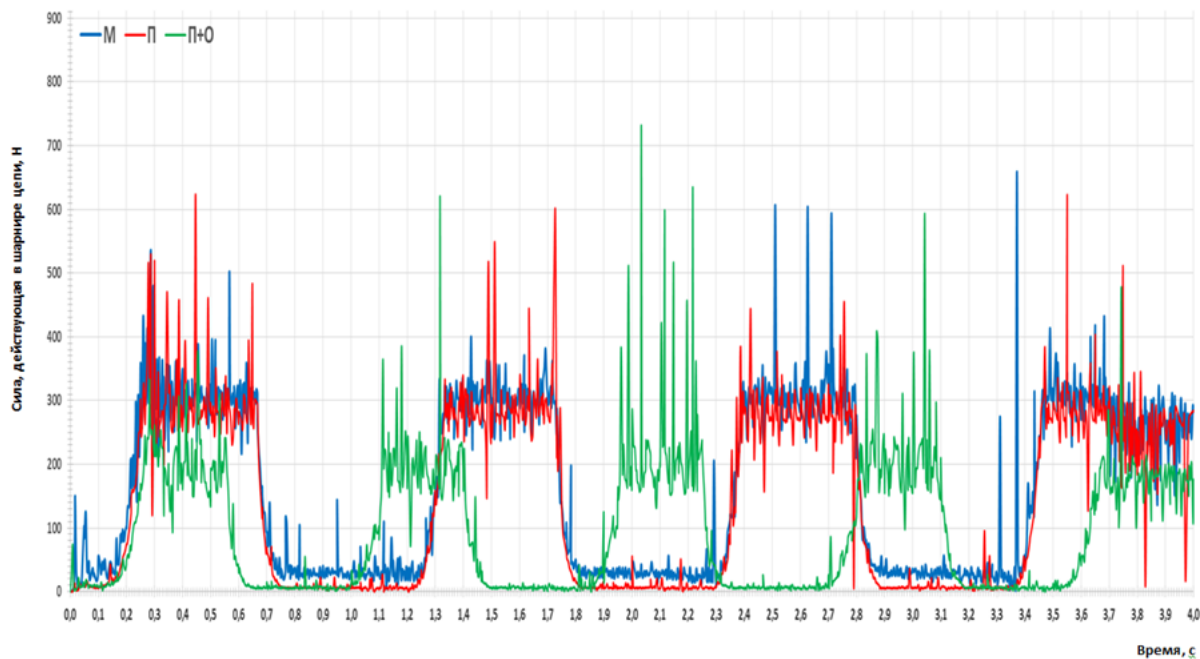


Рис. 8. Сила, действующая на шарнир цепи
(средние значения в ведущей ветви контура: $M = 309 \text{ Н}$; $P = 290 \text{ Н}$; $P+O = 211 \text{ Н}$)

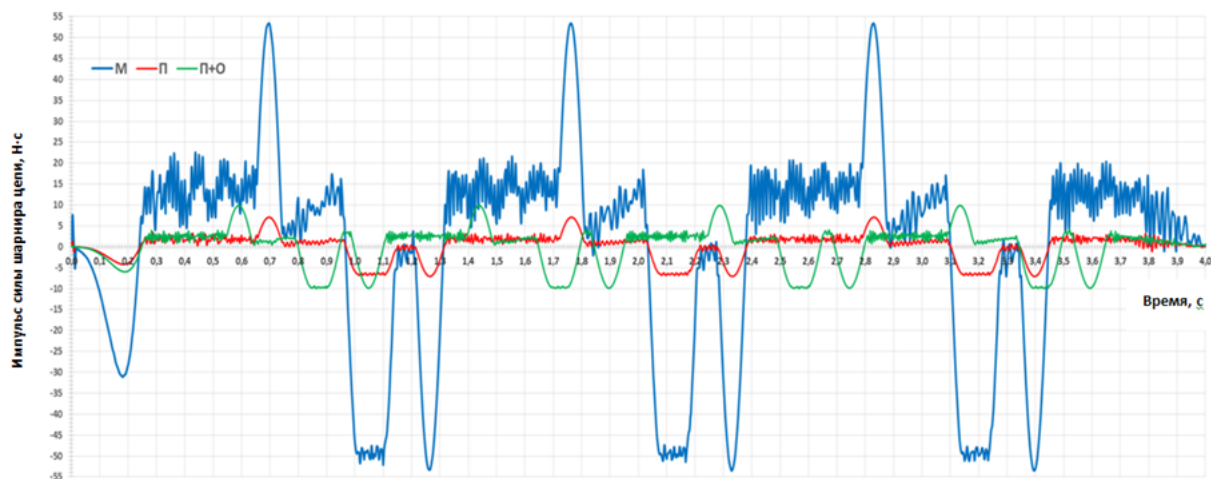


Рис. 9. Импульс силы шарнира по оси Y
(средние значения: $M = 0,57744 \text{ Н·с}$; $P = 0,08041 \text{ Н·с}$; $P+O = 0,03258 \text{ Н·с}$)

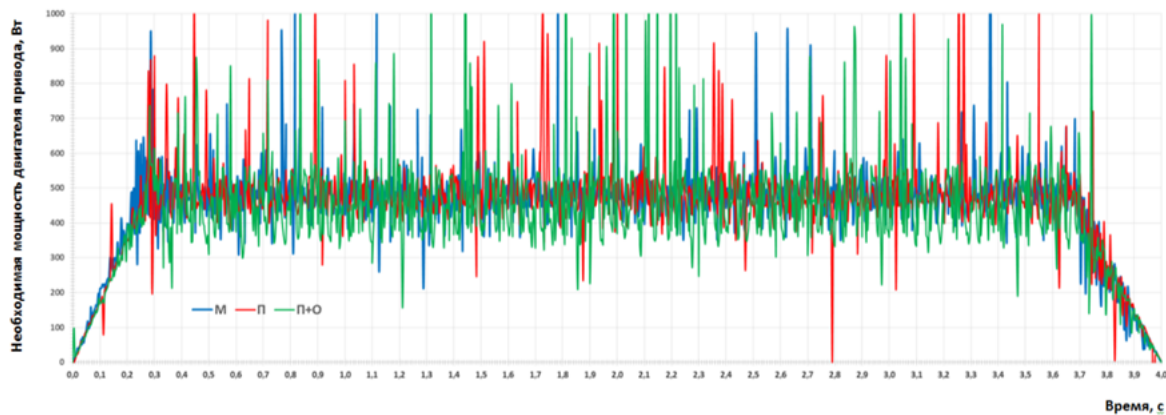


Рис. 10. Необходимая мощность двигателя привода
(средние значения: $M = 457 \text{ Вт}$; $P = 452 \text{ Вт}$; $P+O = 438 \text{ Вт}$)

Анализ эффективности разработанной инженерной методики проектирования многомассовых цепных передач. На основе сравнения экспериментальных и теоретических исследований (табл. 1), а также сравнения результатов послепроектной диагностики построенных вариантов цепных приводов (табл. 2) проанализируем эффективность использования разработанной инженерной методики проектирования многомассовых цепных передач и привода в целом.

Таблица 1

Сравнение результатов исследования многомассовых цепных передач

Показатель	Исполнение элементов передачи	Экспериментальное исследование	Теоретическое исследование (моделирование)	Расхождение значений, %
Динамическая нагрузка в ведущей ветви цепного контура (среднее значение), H	Металлические звёздочки, металлическая цепь (М+М)	360	340	5,6
	Полимерные звёздочки, металлическая цепь (П+М)	338	325	3,8
	Металлические звёздочки, полимерная цепь (М+П)	264	250	5,3
	Полимерные звёздочки, полимерная цепь (П+П)	266	261	1,9

Таблица 2

Сравнение результатов послепроектной диагностики многомассовых цепных приводов при равных условиях эксплуатации

Показатель	Металлические звёздочки, металлическая цепь (М)	Полимерные звёздочки, полимерная цепь (П)	Полимерные звёздочки, полимерная цепь (оптимизированная) (П+О)	Эффект в результате оптимального подбора параметров передачи
Динамическая нагрузка в ведущей ветви (среднее значение), H	309	290	211	- по сравнению с метал. исполнением – $98 H$; - по сравнению с полимер. исполнением – $79 H$
Импульс силы шарнира по оси Y , $H \cdot c$	0,58	0,08	0,03	- по сравнению с метал. исполнением – $0,55 H \cdot c$; - по сравнению с полимер. исполнением – $0,05 H \cdot c$
Необходимая мощность двигателя привода, $Вт$	457	452	438	- по сравнению с метал. исполнением – $19 Вт$; - по сравнению с полимер. исполнением – $14 Вт$

Исходя из результатов расхождения средних значений экспериментального и теоретического исследования динамической нагрузки в ведущей ветви цепного контура передачи, можно утверждать, что применение программного комплекса “SolidWorks” для исследования движения элементов передачи и в целом привода является эффективным, поскольку расхождение средних значений не превышает 6 %.

Таким образом, исходя из результатов, представленных в табл. 2, можно сделать вывод о высокой эффективности использования разработанного программного продукта «Расчёт n -массовой цепной передачи» для оптимального подбора параметров цепных передач любой сложности.

Выводы. 1. Наибольшее значение динамической нагрузки в ведущей ветви цепного контура имеет место в металлическом исполнении передачи, причем расхождение между теоретическим и экспериментальным значениями составляет 5,6 %.

2. Наименьшее значение динамической нагрузки в ведущей ветви цепного контура имеет место при работе полимерной цепи на металлических звёздочках, причем расхождение между теоретическим и экспериментальным значениями составляет 5,3 %.

3. Динамическая нагрузка в ведущей ветви цепного контура в полимерном исполнении деталей передачи незначительно превышает указанную величину в п. 2 и расхождение между теоретическим и экспериментальным значениями составляет 1,9 %. Таким образом, можно считать, что наилучшим вариантом является применение цепных передач, оснащенных деталями из полимерных композитов.

4. В результате подбора оптимальных параметров цепной передачи динамическая нагрузка в ведущей ветви цепного контура, импульс силы шарнира и необходимая мощность двигателя привода демонстрируют значительно меньшие величины при применении цепной передачи в полимерном оптимизированном исполнении.

5. Обоснована эффективность разработанного метода расчёта и проектного построения многомассовых цепных передач с помощью послепроектной сравнительной диагностики программным комплексом “SolidWorks”.

Список использованных источников

1. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 59073 Комп'ютерна програма «Расчёт n-массовой цепной передачи» / Казимир В. В., Борисов Д. Ю., Пилипенко О. І., Полуян А. В. – заявл. 03.02.2015 ; опубл. 31.03.2015.

2. Pilipenko O., Poluyan A.V. Dynamic Parameters of a Chain Transmission in Metal and Polymer Design. International virtual journal for science, technics and innovations for the industry MTM Machines, Technologies, Materials. Published by Scientific technical Union of Mechanical Engineering. Issue 9/2014. – Pp. 40–43.

3. Стенд для испытаний и исследований передач с гибкой связью : а. с. №1717988 / Пилипенко О. И., Лабудько В. А., Радченко С. В. – опубл. 07.03.1992, Бюл. № 9.

References

1. Kazymyr, V.V., Borisov, D.U., Pilipenko, O.I., Poluyan, A.V. (2015). *Svidoctvo na reestraciju avtorskoho prava na tvir № 59073 Kompjuterna prohrama “Raschot n-massovoj cepnoj peredachi”* [Certificate on registration of copyright on work № 59073 the Computer program “Calculation of n-mass of chain-drive”]. It is declared 03.02.2015; it is published 31.03.2015.

2. Pilipenko, O., Poluyan, A.V. (2014). *Dynamic Parameters of a Chain Transmission in Metal and Polymer Design. International virtual journal for science, technics and innovations for the industry MTM Machines, Technologies, Materials*. Scientific technical Union of Mechanical Engineering, issue 9, pp. 40–43.

3. Pilipenko, O., Labudko, V.A., Radchenko, S.V. (1992). *Stend dlia ispytanii i issledovanii peredach s gibkoi sviazii* [Stand for tests and researches of transmissions with flexible connection]. A. S. №1717988.

Пилипенко Олег Иванович – доктор технических наук, профессор, зав. секцией основ конструирования машин кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Пилипенко Олег Иванович – доктор технічних наук, професор, зав. секцією основ конструювання машин кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Pilipenko Oleg – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of section Machine Design Fundamentals of Welding Production and Automatized Projecting Building Constructions Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

Полуян Анатолий Викторович – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Полуян Анатолий Викторович – аспирант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Poluyan Anatolii – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

*Іван Хоменко***ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИ ЗАЗОРИ У ВІБРОУДАРНИХ ПАРАХ***Іван Хоменко***ГРАНИЧНО ДОПУСТИМЫЕ ЗАЗОРЫ В ВИБРОУДАРНЫХ ПАРАХ***Ivan Khomenko***MAXIMUM POSSIBLE GAPS IN VIBROSHOCK PAIRS***Наведено метод розрахунку гранично допустимих зазорів у спряженнях з віброударними парами.**Ключові слова:* гранично допустимий зазор, віброударні пари, контактні напруження у спряженнях з ударною контактною взаємодією.*Рис.: 5. Бібл.: 11.**Приведен метод расчета предельно допустимых зазоров в сопряжениях с виброударными парами.**Ключевые слова:* гранично допустимый зазор, виброударные пары, контактные напряжения в сопряжениях при ударном контактном взаимодействии.*Рис.: 5. Библ.: 11.**The method of calculation maximum of possible gaps is in-process resulted in interfaces with vibroshock pair**Key words:* maximum possible gap, vibroshock pair, contact tensions in interfaces with shock contact co-operation*Fig.: 5. Bibl.: 11.*

Вступ. У ряді спряжень машин (втулка головки шатуна-палець, бобишки поршня-палець у двигунів внутрішнього згорання) при досягненні певних зазорів у спряженнях швидкість їх зношування інтенсивно наростає. Причому таке явище спостерігається у випадку виникнення ударної взаємодії між елементами так званих «ударних пар».

Поняття «ударної пари», як особливого типу кінематичного з'єднання двох ланок механізму, вперше запропоновано А. Ю. Кобринським [1].

С. Дубовські і Ф. Фрейденштейн у експериментальній роботі [2] встановили, що максимальне стискування поверхонь деталей у спряженнях віброударних пар під дією ударної сили значно перевищує (у декілька разів) статичне їх стискування під дією такої ж за величиною статичної сили. Це означає, що має місце суттєве зростання напружень у елементах спряжень, оскільки напруження прямо залежать від пружних деформацій поверхонь деталей спряження.

У роботі [3] показано, що коефіцієнт динамічності (відношення максимального стискування поверхонь елементів спряження при ударі до статичного стискування), наприклад, у зубчастого зачеплення зростає приблизно тією ж мірою, якою зростає зазор.

Приклад розрахунку гранично допустимого зазору в зубчастому зачепленні шестеренної передачі коробки відбору потужності пожежної атоцистерни АЦ-63Б, який наведено в роботі [4], свідчить про такі співвідношення стискувань зубців залежно від умов стискування: статичне стискування – $\alpha_{\max}/\alpha_{st} = 1$; удар при відсутності зазору –

$$\alpha_{\max}/\alpha_{st} = 2; \text{ удар при гранично допустимому зазорі – } \alpha_{\max}/\alpha_{st} \approx 4.$$

Удар (як зовнішній так і внутрішній) двох куль досліджувався у роботах Герца, Динника, Тимошенко, Гутьяра, Беляєва й ін. Проте у техніці більш поширеним типом з'єднання є циліндрична пара. Деякі роботи, пов'язані з зовнішньою контактною взаємодією циліндрів, названі в роботі [4]. Стосовно внутрішнього контакту циліндрів можна послатись, наприклад, на роботу С. Дубовські і Ф. Фрейденштейна [2].

Метою статті є розгляд взаємодії елементів ударної пари втулка верхньої головки шатуна-поршневій палець. Випадок характерний тим, що елементи пари виготовляють з різних матеріалів, а саме: втулка – залізоалюмінієві бронзи Бр. АЖ 9-4 (міцність за Бринелем $H_B=110$), олов'янистоцинкові бронзи Бр. ОЦ 10-2 ($H_B=80...90$) і Бр. ОЦС 4-4-2,5 ($H_B=65...75$), а також олов'янистофосфористі бронзи з міцністю $H_B=90...120$; порш-

невий палець – переважно легірувані хромистоцементовані сталі марок 12Х2Н4А і 12ХН3А ($\sigma_s = 1000 \dots 1200$ МПа), маловуглецеві сталі 15ХА, 15ХМА [5].

Виклад основного матеріалу. За наявності зазору у спряженні втулка головки шатуна-палець ударна взаємодія має місце поблизу верхньої або нижньої мертвих точок (*в.м.т.*, *н.м.т.* – відповідно), тобто там, де змінюється напрямок руху поршневої і шатунної груп двигуна. Очевидно, що більш важкими є умови роботи ударної пари, коли поршень знаходиться поблизу *в.м.т.* під час самозаймання палива (автотракторні двигуни, значною мірою – дизелі). При цьому на поршень діє сила

$$P = P_z - P_j, \quad (1)$$

де $P_z = p_z \cdot S_n$ – сила, що діє на поршень при самозайманні палива в циліндрі двигуна;

p_z – тиск газів на дно поршня; для автотракторних дизельних двигунів ($0,8 \dots 1,0$) $\cdot 10^7$ Па, при розрахунках приймають $p_z = 0,9 \cdot 10^7$ Па [6];

$$S_n = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ – площа поверхні дна поршня;}$$

D – діаметр поршня,

P_j – сила інерції поршневої групи у *в.м.т.* [6];

$$P_j = m_{jnr} \cdot r\omega^2 (1 + \lambda), \quad (2)$$

де m_{jnr} – маса деталей поршневої групи, які рухаються зворотно поступально (дорівнює сумі мас поршневого комплекту (поршень, палець, поршневі кільця) і частини маси шатуна, віднесеної до поршня);

r – радіус кривошипа колінчастого вала;

ω – кутова швидкість обертання колінчастого вала;

$$\lambda = r/l;$$

l – довжина шатуна.

У мить згоряння палива в циліндрі двигуна, як правило, біля *в.м.т.*, шатун рухається донизу, а поршень під дією сил інерції – вверх імпульсна дія сили P приводить за наявності зазорів до ударів у спряженнях бобишки поршня-палець і втулка верхньої головки шатуна-палець.

Диференціальне рівняння руху поршневої групи у зазорі втулка-палець можна записати у такому вигляді:

$$m_{nr} \cdot \ddot{x}_r = P, \quad (3)$$

де x_r – відносне переміщення деталей поршневої групи в зазорі;

m_{nr} – маса поршневої групи (поршень, палець, поршневі кільця).

Прийнявши початкові умови $\dot{x}_r(0) = 0$ і $x_r(0) = 0$, після інтегрування виразу (3)

$$\text{отримаємо } \dot{x}_r = P \cdot t / m_{nr}; \quad x_r = Pt^2 / 2m_{nr}.$$

Якщо позначити через Δ – діаметральний зазор між втулкою і пальцем, а через t_r – час проходження поршневою групою зазору, то з останніх виразів отримаємо:

$$t_r = \sqrt{\frac{2m_{nr}}{P}} \quad (4)$$

і відносну швидкість поршневої групи у мить удару по втулці шатуна

$$V_r = \dot{x}_r = \sqrt{\frac{2P \cdot \Delta}{m_{nr}}} \quad (5)$$

Згідно з викладками, наведеними у роботі [7], максимальне зближення поршневого пальця і втулки шатуна при ударній взаємодії визначиться за формулою

$$\alpha_{\max} = \frac{p'}{c} \left(1 + \frac{V_r \cdot c}{\omega_0 \cdot p'} \right) = \frac{p'}{c} \left(1 + \sqrt{\frac{2\Delta \cdot c \cdot l_{\text{em}}}{p'}} \right), \quad (6)$$

де $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m_{nr}}}$ – циклічна частота коливань поршневої групи при ударі по поверхні втулки шатуна;

$p' = \frac{P}{l_{\text{em}}}$ – інтенсивність навантаження зовнішніми силами;

l_{em} – довжина втулки верхньої головки шатуна;

c – коефіцієнт пропорційності (жорсткості) віброударної пари.

Якщо позначити $p_{\max} = c \alpha_{\max}$ (α_{\max} – максимальне зближення пальця і втулки при стискуванні динамічною силою p_{\max}), то з (6) отримаємо

$$p_{\max} = p' \left(1 + \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta \cdot l_{\text{em}} \cdot c}{p'}} \right). \quad (7)$$

Далі за формулою Писаренко для внутрішнього стискування циліндрів [9] знаходимо максимальне напруження на поверхні контакту

$$\sigma_{\max} = 0,418 \sqrt{\frac{2 \cdot p_{\max} \cdot E_1 \cdot E_2 (R_2 - R_1)}{(E_1 + E_2) R_1 \cdot R_2}}, \quad (8)$$

і, порівнюючи його з допустимим, визначаємо гранично допустимий зазор у спряженні типу втулка-палець.

Для визначення відносного зближення елементів віброударної пари при внутрішньому стискуванні двох циліндрів С. Дубовскі і Ф. Фрейденштейн [2] пропонують формулу

$$\alpha = \frac{2(\delta_1 + \delta_2)}{2a} p \cdot \ln \frac{(R_2 - R_1) \cdot 8a^3 \cdot e}{P \cdot R_1 \cdot R_2 (\delta_1 + \delta_2)}, \quad (9)$$

де $\delta_i = \frac{(1 - \mu_i^2)}{\pi \cdot E_i}$, а μ_i і E_i – відповідно коефіцієнт Пуасона і модуль пружності i -го тіла;

для бронзи $E_1 = 1,15 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu_1 = 0,33$, для сталі – $E_2 = 2,2 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu_2 = 0,30$;

a – половина ширини площини контакту циліндрів, що стискаються;

e – основа натуральних логарифмів;

R_i – радіус i -го циліндра; у подальших розрахунках взяті радіуси поршневого пальця і втулки верхньої головки шатуна двигуна Д-54А $R_1 = 0,024$ м і $R_2 = 0,02402$ м.

Результати розрахунків, проведених з використанням формули (9), наведено на рис. 1.

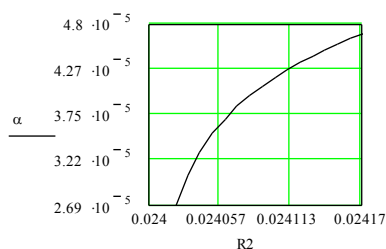
$$\mu_1 := 0.33 \quad \mu_2 := 0.30 \quad E_1 := 1.15 \cdot 10^{11} \quad E_2 := 2.2 \cdot 10^{11} \quad P := 101276 \quad a := 2 \cdot 10^{-2} \quad R1 := 0.024$$

$$\delta_1 := \frac{[1 - (\mu_1)^2]}{\pi \cdot E_1} \quad \delta_2 := \frac{[1 - (\mu_2)^2]}{\pi \cdot E_2} \quad \delta := \frac{(\delta_1 + \delta_2)}{2a} \quad N := 15 \quad i := 0..N \quad R2_i := 0.02402 + 0.01 \cdot 10^{-3} \cdot i$$

$$f(R2) := \delta \cdot P \cdot \ln \left[\frac{(R2 - R1) \cdot 8a^3 \cdot e}{P \cdot R1 \cdot R2 \cdot 2 \cdot \delta \cdot a} \right]$$

$$\alpha_i := f(R2_i) \quad c(R2) := \frac{P}{f(R2)}$$

$$c_i := c(R2_i)$$



	0
0	2.641·10 ⁻⁵
1	3.029·10 ⁻⁵
2	3.304·10 ⁻⁵
3	3.517·10 ⁻⁵
4	3.692·10 ⁻⁵
5	3.839·10 ⁻⁵
6	3.966·10 ⁻⁵
7	4.079·10 ⁻⁵
8	4.179·10 ⁻⁵
9	4.27·10 ⁻⁵
10	4.353·10 ⁻⁵
11	4.429·10 ⁻⁵
12	4.5·10 ⁻⁵
13	4.566·10 ⁻⁵
14	4.627·10 ⁻⁵
15	4.685·10 ⁻⁵

	0
0	3.835·10 ⁹
1	3.344·10 ⁹
2	3.065·10 ⁹
3	2.879·10 ⁹
4	2.743·10 ⁹
5	2.638·10 ⁹
6	2.553·10 ⁹
7	2.483·10 ⁹
8	2.423·10 ⁹
9	2.372·10 ⁹
10	2.327·10 ⁹
11	2.286·10 ⁹
12	2.251·10 ⁹
13	2.218·10 ⁹
14	2.189·10 ⁹
15	2.162·10 ⁹

Рис. 1. Результати розрахунків коефіцієнтів зближення і жорсткості при внутрішньому контакті циліндрів за формулою (9)

Як видно із наведених на рис. 1 результатів, коефіцієнт жорсткості спряження втулка шатуна-палець залежить від величини радіусів циліндрів і знаходиться у межах (2,16...3,84)·10⁹ Н/м².

В. Гольдсміт [8] для визначення зближення центрів при зовнішньому стискуванні циліндрів з паралельними осями пропонує таку формулу:

$$\alpha = (\delta_1 + \delta_2) p' \ln \frac{e(R_1 + R_2)}{p'(\delta_1 + \delta_2)R_1R_2} \tag{10}$$

Результати розрахунків зближення циліндрів при вихідних параметрах, які використані у розрахунках за формулою (9), наведено на рис. 2.

$$p := 2.532 \cdot 10^6 \quad E1 := 1.15 \cdot 10^{11} \quad E2 := 2.2 \cdot 10^{11} \quad \mu1 := 0.33 \quad \mu2 := 0.30$$

$$\delta1 := \frac{1 - \mu1^2}{E1 \cdot \pi} \quad \delta2 := \frac{1 - \mu2^2}{E2 \cdot \pi} \quad R1 := 0.024 \quad N := 15 \quad i := 0..N \quad R2_i := 0.02402 + 0.01 \cdot 10^{-3} \cdot i$$

$$f(R2) := (\delta1 + \delta2) \cdot p \cdot \ln \left[\frac{e \cdot (R1 + R2)}{p \cdot (\delta1 + \delta2) \cdot R1 \cdot R2} \right]$$

$$\alpha_i := f(R2_i)$$

$$c := \frac{p}{\alpha}$$

	0
0	1.626·10 ⁻⁴
1	1.626·10 ⁻⁴
2	1.626·10 ⁻⁴
3	1.626·10 ⁻⁴
4	1.626·10 ⁻⁴
5	1.626·10 ⁻⁴
6	1.626·10 ⁻⁴
7	1.626·10 ⁻⁴
8	1.626·10 ⁻⁴
9	1.626·10 ⁻⁴
10	1.626·10 ⁻⁴
11	1.626·10 ⁻⁴
12	1.626·10 ⁻⁴
13	1.626·10 ⁻⁴
14	1.626·10 ⁻⁴
15	1.626·10 ⁻⁴

	0
0	1.557·10 ¹⁰
1	1.557·10 ¹⁰
2	1.557·10 ¹⁰
3	1.557·10 ¹⁰
4	1.557·10 ¹⁰
5	1.557·10 ¹⁰
6	1.557·10 ¹⁰
7	1.557·10 ¹⁰
8	1.557·10 ¹⁰
9	1.557·10 ¹⁰
10	1.557·10 ¹⁰
11	1.557·10 ¹⁰
12	1.557·10 ¹⁰
13	1.557·10 ¹⁰
14	1.557·10 ¹⁰
15	1.557·10 ¹⁰

Рис. 2. Результати розрахунків коефіцієнтів зближення і жорсткості при зовнішньому контакті циліндрів за формулою (10)

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У формулі (10) p' являє собою інтенсивність навантаження (Н/м), а коефіцієнт пропорційності (жорсткості) – C має одиниці виміру – Н/м², і практично не залежить від зазору. Дещо нижчі, ніж визначені за формулою (9), значення коефіцієнта C пояснюються тим, що елементи спряження втулка шатуна-палець виготовлені з різних матеріалів.

Для внутрішнього контакту циліндрів Писаренко [9] рекомендує у формулах для зовнішнього їх контакту брати не суму радіусів, а їх різницю. У випадку вказаного корегування формула (10) набуває такого вигляду:

$$\alpha = (\delta_1 + \delta_2) p' \ln \frac{e(R_2 - R_1)}{p'(\delta_1 + \delta_2)R_1R_2} \tag{11}$$

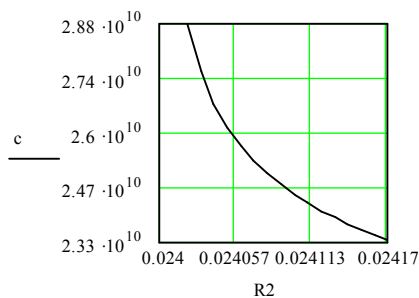
Виконуючи відповідні розрахунки за формулою (11), отримаємо результати, представлені на рис. 3.

$$p := 2.532 \cdot 10^6 \quad E1 := 1.15 \cdot 10^{11} \quad E2 := 2.2 \cdot 10^{11} \quad \mu1 := 0.33 \quad \mu2 := 0.30$$

$$\delta1 := \frac{1 - \mu1^2}{E1 \cdot \pi} \quad \delta2 := \frac{1 - \mu2^2}{E2 \cdot \pi} \quad R1 := 0.024 \quad N := 15 \quad i := 0..N \quad R2_i := 0.02402 + 0.01 \cdot 10^{-3} \cdot i$$

$$f(R2) := (\delta1 + \delta2) \cdot p \cdot \ln \left[\frac{e \cdot (R2 - R1)}{p \cdot (\delta1 + \delta2) \cdot R1 \cdot R2} \right]$$

$$\alpha_i := f(R2_i) \quad c := \frac{p}{\alpha}$$



	0		0
0	8.808 · 10 ⁻⁵	0	2.875 · 10 ¹⁰
1	9.196 · 10 ⁻⁵	1	2.754 · 10 ¹⁰
2	9.471 · 10 ⁻⁵	2	2.674 · 10 ¹⁰
3	9.684 · 10 ⁻⁵	3	2.615 · 10 ¹⁰
4	9.858 · 10 ⁻⁵	4	2.568 · 10 ¹⁰
5	1.001 · 10 ⁻⁴	5	2.531 · 10 ¹⁰
6	1.013 · 10 ⁻⁴	6	2.499 · 10 ¹⁰
7	1.025 · 10 ⁻⁴	7	2.471 · 10 ¹⁰
8	1.035 · 10 ⁻⁴	8	2.447 · 10 ¹⁰
9	1.044 · 10 ⁻⁴	9	2.426 · 10 ¹⁰
10	1.052 · 10 ⁻⁴	10	2.407 · 10 ¹⁰
11	1.06 · 10 ⁻⁴	11	2.39 · 10 ¹⁰
12	1.067 · 10 ⁻⁴	12	2.374 · 10 ¹⁰
13	1.073 · 10 ⁻⁴	13	2.359 · 10 ¹⁰
14	1.079 · 10 ⁻⁴	14	2.346 · 10 ¹⁰
15	1.085 · 10 ⁻⁴	15	2.333 · 10 ¹⁰

Рис. 3. Результати розрахунків і коефіцієнтів зближення і жорсткості при внутрішньому контакті циліндрів за формулою (11)

Для визначення зближення по лінії центрів циліндрів при внутрішньому їх стискуванні нами також розглядалась формула, запропонована З. М. Левіною і Д. М. Решетовим [10], яка має такий вигляд:

$$\alpha = 0,83\Delta \left(p' \cdot k / d \cdot \Delta \right)^{2/3}, \tag{12}$$

де k – коефіцієнт контактної податливості; для внутрішнього циліндричного спряження (матеріал спряження сталь-сталь) при інтенсивності навантаження $p' = (134...400) \cdot 10^3$ Н/м і діаметральному зазорі $\Delta = (11...13)10^{-6}$ м у дослідях отримано $k = (0,018...0,017) \cdot 10^{-11}$ м³/Н [10].

На рис. 4 наведено результати розрахунку коефіцієнта жорсткості C з використанням формули і дослідних даних коефіцієнта податливості, отриманих З. М. Левіною і Д. М. Решетовим.

$$d := 0.048 \quad p := 2.532 \cdot 10^6 \quad k := 0.018 \cdot 10^{-11} \quad N := 15 \quad i := 0..N$$

$$\Delta_i := 0.02 \cdot 10^{-3} + 0.02 \cdot 10^{-3} \cdot i$$

$$\alpha_i := f(\Delta_i) \quad f(\Delta) := 0.83 \cdot \Delta \cdot \left(\frac{p \cdot k}{d \cdot \Delta} \right)^{\frac{2}{3}} \quad c(\Delta) := \frac{p}{f(\Delta)}$$

$$c_i := c(\Delta_i)$$

	0
0	$1.01 \cdot 10^{-5}$
1	$1.273 \cdot 10^{-5}$
2	$1.457 \cdot 10^{-5}$
3	$1.604 \cdot 10^{-5}$
4	$1.727 \cdot 10^{-5}$
5	$1.836 \cdot 10^{-5}$
6	$1.932 \cdot 10^{-5}$
7	$2.02 \cdot 10^{-5}$
8	$2.101 \cdot 10^{-5}$
9	$2.176 \cdot 10^{-5}$
10	$2.247 \cdot 10^{-5}$
11	$2.313 \cdot 10^{-5}$
12	$2.375 \cdot 10^{-5}$
13	$2.435 \cdot 10^{-5}$
14	$2.491 \cdot 10^{-5}$
15	$2.546 \cdot 10^{-5}$

	0
0	$2.506 \cdot 10^{11}$
1	$1.989 \cdot 10^{11}$
2	$1.738 \cdot 10^{11}$
3	$1.579 \cdot 10^{11}$
4	$1.466 \cdot 10^{11}$
5	$1.379 \cdot 10^{11}$
6	$1.31 \cdot 10^{11}$
7	$1.253 \cdot 10^{11}$
8	$1.205 \cdot 10^{11}$
9	$1.163 \cdot 10^{11}$
10	$1.127 \cdot 10^{11}$
11	$1.095 \cdot 10^{11}$
12	$1.066 \cdot 10^{11}$
13	$1.04 \cdot 10^{11}$
14	$1.016 \cdot 10^{11}$
15	$9.947 \cdot 10^{10}$

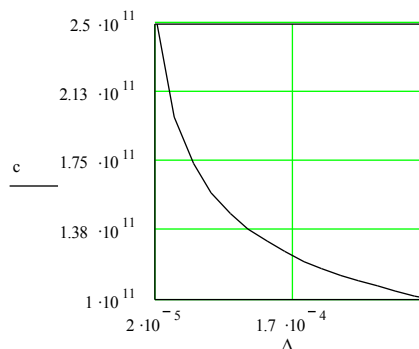


Рис. 4. Результати розрахунків зближення і коефіцієнта жорсткості при внутрішньому контакті циліндрів за формулою (12)

Аналіз результатів розрахунків коефіцієнта жорсткості за формулами, наведеними вище, свідчить про близькість отриманих значень коефіцієнта жорсткості (порядок 10^{10} , 10^{11}), що свідчить про можливість використання розглянутих формул (формула (9) дає дещо занижені результати), проте найбільш реальні, на наш погляд, результати маємо у разі використання формули В. Гольдсміта, оскільки коефіцієнт жорсткості за формулою (10) практично не залежить від величини зазору. Для внутрішнього стискування циліндрів (скорегована формула (11)) коефіцієнт жорсткості також мало залежить від зазору між циліндрами (рис. 3).

Враховуючи аналіз наведених результатів для подальших розрахунків прийmemo за В. Гольдсмітом $c = 2,6 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$.

Розглянемо приклад визначення гранично допустимого зазору у спряженні втулка верхньої головки шатуна-поршневий палець двигуна Д-54А. У розрахунках приймаємо: діаметр поршня двигуна $D=0,125 \text{ м}$, радіус кривошипа колінчастого вала $r=0,076 \text{ м}$, кількість обертів колінчастого вала на номінальному режимі роботи $n=1300 \text{ об/хв.}$, відношення величини радіуса кривошипа до довжини шатуна $\frac{r}{l} = \frac{1}{4,34}$, маса поршневої групи $m_{jnr} = 5,272 \text{ кг}$, максимальний тиск у циліндрі двигуна при самозайманні палива $p_z = 0,9 \cdot 10^7 \text{ Па}$, ширина втулки верхньої головки шатуна $l_{om} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, радіус поршневого пальця $R_1 = 0,024 \text{ м}$, радіус втулки шатуна $R_2 = 0,02402 \text{ м}$, діаметральний зазор у спряженні палець-втулка для нового спряження $\Delta = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Враховуючи, що $\omega = \frac{\pi n}{30}$, за формулою (2) визначаємо силу інерції поршневої групи при положенні поршня у *в.м.т.*

$$P_j = 5,272 \cdot 0,076 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 1300}{30}\right)^2 \left(1 + \frac{1}{4,34}\right) = 9113,4 \text{ Н.}$$

Визначаємо силу, що діє на поршень двигуна при самозайманні палива:

$$P_z = p_z \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 0,9 \cdot 10^7 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,125^2}{4} = 110\,390 \text{ Н.}$$

За формулою (1) знаходимо максимальну силу, яка діє на поршень у верхній мертвій точці, $P = 110\,390 - 9113,4 = 101\,276,6 \text{ Н.}$

Максимальна інтенсивність навантаження у спряженні втулка-палець:

$$p' = \frac{P}{l_{em}} = \frac{101\,276,6}{4 \cdot 10^{-2}} = 2,532 \cdot 10^6 \text{ Н/м.}$$

За формулою (11) знаходимо α і з рис. 3 – $c = 2,6 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$.

Подальші розрахунки проводимо за формулами (8) і (11). Результати розрахунків наведено на рис. 5.

$$p := 2.532 \cdot 10^6 \quad E1 := 1.15 \cdot 10^{11} \quad E2 := 2.2 \cdot 10^{11} \quad l := 4 \cdot 10^{-2} \quad R1 := 0.024 \quad R2 := 0.02402 \quad c := 2.6 \cdot 10^{10}$$

$$N := 10 \quad i := 0..N \quad \Delta_i := 0.04 \cdot 10^{-3} + 0.02 \cdot 10^{-3} \cdot i \quad f1(\Delta) := p \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{2\Delta \cdot l \cdot c}{p}}\right) \quad pm_i := f1(\Delta_i)$$

$$f2(\Delta) := 0.418 \cdot \frac{2 \cdot f1(\Delta) \cdot E1 \cdot E2 \cdot \left(\frac{\Delta}{2}\right)}{(E1 + E2) \cdot R1 \cdot R2} \quad \sigma_{mi} := f2(\Delta_i)$$

	0
0	2.991·10 ⁶
1	3.094·10 ⁶
2	3.181·10 ⁶
3	3.258·10 ⁶
4	3.327·10 ⁶
5	3.391·10 ⁶
6	3.45·10 ⁶
7	3.506·10 ⁶
8	3.558·10 ⁶
9	3.608·10 ⁶
10	3.656·10 ⁶

	0
0	5.233·10 ⁷
1	6.519·10 ⁷
2	7.632·10 ⁷
3	8.635·10 ⁷
4	9.56·10 ⁷
5	1.042·10 ⁸
6	1.124·10 ⁸
7	1.202·10 ⁸
8	1.276·10 ⁸
9	1.348·10 ⁸
10	1.417·10 ⁸

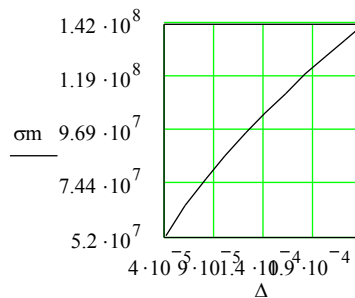


Рис. 5. Залежність максимального напруження на поверхні контакту від зазору у спряженні втулка-палець двигуна Д-54А

Висновок. Запропонована методика дозволяє визначати гранично допустимі зазори у віброударних парах. Якщо прийняти, наприклад, максимальне контактне напруження при стискуванні для бронзи $[\sigma_{max}] = 1,1 \cdot 10^8 \text{ Па}$ [6, 11], то з таблиці (або графіка), що наведено на рис. 5, знаходимо гранично допустимий зазор у спряженні втулка верхньої головки шатуна-поршневій палець тракторного двигуна Д-54А $\Delta = 0,16 \text{ мм.}$

Список використаних джерел

1. Кобринский А. Е. Виброударные системы / А. Е. Кобринский, А. А. Кобринский. – М. : Наука, 1973. – 592 с.

2. Дубовски С. Динамический расчет механических систем с зазорами. Часть 1. Составление динамической модели. Конструирование и технология машиностроения / С. Дубовски, Ф. Фрейденштейн. – М. : Мир, 1971. – № 1.– С. 247–252.
3. Костарчук Ю. В. Динаміка зубчастого зацеплення з урахуванням зазору у спряженні зубців / Ю. В. Костарчук, І. М. Хоменко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2005. – № 22. – С. 54–60.
4. Хоменко І. М. Гранично допустимий зазор у спряженні зубців зубчастого зацеплення / І. М. Хоменко // Технічні науки ат технології. – 2015. – № 2 (2). – С. 19–25.
5. Труды второй научной конференции по повышению долговечности и надежности тракторных двигателей (Москва, 30 июня – 3 июля 1964 г.) / Гос. ком. автотракторного и с.-х. машиностроения при Госплане СССР. НАТИ. – М. : ОНТИ-НАТИ, 1965. – Ч. 2. – 206 с.
6. Конструкция и расчет автотракторных двигателей / М. М. Вихерт, Р. П. Доброгаев и др. ; под ред. проф. Ю. А. Степанова. – М. : Машгиз, 1957. – 604 с.
7. Хоменко І. М. Про визначення гранично допустимих зазорів у шарнірних спряженнях і зубчастих зацепленнях / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2008. – № 4. – С. 115–119.
8. Гольдсмит В. Удар. Физические свойства соударяемых тел : пер. с англ. / В. Гольдсмит. – М. : Стройиздат, 1965. – 448 с.
9. Сопrotивление материалов / под ред. Г. С. Писаренко и др. – К. : Гостехиздат Украины, 1963. – 792 с.
10. Левина З. М. Контактная жесткость машин / З. М. Левина, Д. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.
11. Феодосьев В. И. Избранные задачи по сопротивлению материалов / В. И. Феодосьев. – М. : Наука, 1973. – 400 с.

References

1. Kobrinskii, A.E., Kobrinskii, A.A. (1973). *Vibroudarnye sistemy [Vibroimpact systems]*. Moscow: Nauka (in Russian).
2. Dubovski, S., Freidenshtein, F. (1971). *Dinamicheskii raschet mekhanicheskikh sistem s zazorami. Chast 1. Sostavlenie dinamicheskoi modeli. Konstruirovaniie i tekhnologiiia mashinostroeniia [Dynamic analysis of mechanical systems with gaps. Part 1. Preparation of a dynamic model. Construction and Engineering Technology]*. Moscow: Mir, no. 1, pp. 247–252 (in Russian).
3. Kostarchuk, Yu.V., Khomenko, I.M. (2005). *Dynamika zubchastoho zacheplennia z urakhuvanniam zazoru u spriazhenni zubtsiv [Dynamics tooththing considering the gap in the coupling teeth]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 22, pp. 54–60 (in Ukrainian).
4. Khomenko, I.M. (2015). *Hranychno dopustymyi zazor u spriazhenni zubtsiv zubchastoho zacheplennia [Boundary clearances in the dual teeth gearing]*. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (2), pp. 19–25 (in Ukrainian).
5. *Trudy vtoroi nauchnoi konferentsii po povysheniiu dolgovechnosti i nadezhnosti traktornykh dvigatelei [Proceedings of the second conference to raise tractor engine durability and reliability]* (Moscow, June 30 – July 3, 1964) (1965). Moscow: ONTI-NATI, part 2.
6. Vikhert, M.M., Dobrogaev, R.P., Stepanov, Yu.A. (ed). (1957). *Konstruktsiia i raschet avtotraktornykh dvigatelei [Design and calculation of automotive engines]*. Moscow: Mashgiz (in Russian).
7. Khomenko, I.M., Kindrachuk, M.V. (2008). *Pro vyznachennia hranychno dopustymykh zazoriv u sharnirnykh spriazhenniakh i zubchastykh zacheplenniakh [On the determination of the maximum permissible gaps in articulated coupling and gears]*. *Problemy trybolohii – Problems of Tribology*, no. 4, pp. 115–119 (in Ukrainian).
8. Goldsmit, V. (1965). *Udar. Fizicheskie svoistva soudariaemykh tel [Hit. The physical properties of the colliding bodies]*. Moscow: Stroiiizdat (in Russian).
9. Pisarenko, G.S. (ed.) (1963). *Soprotivlenie materialov [Strength of materials]*. Kyiv: Gostekhizdat Ukrainy (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. Levina, Z.M., Reshetov, D.N. (1971). *Kontaknaia zhestkost mashin [Contact stiffness machines]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).

11. Feodosev, V.I. (1973). *Izbrannye zadachi po soprotivleniiu materialov [Selected problems on strength of materials]*. Moscow: Nauka (in Russian).

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

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

Khomenko Ivan – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Motor Transport and Branch Engineer Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Ivan.Khomenko@gmail.com

УДК 672.47:681.5.015.22

*Роман Дмитриенко, Александр Палиенко***ПОСТРОЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РАЗНОТОЛЩИННОЙ, ТОНКОСТЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ГИЛЬЗЫ С ДНИЩАМИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ СТАЛИ 20***Роман Дмитрієнко, Олександр Палієнко***ПОБУДОВА ДІЙНОЇ ДІАГРАМИ ДЕФОРМУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ РІЗНОТОВЩИННОЇ, ТОНКОСТІННОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ГІЛЬЗИ З ДНИЩАМИ, ВИГОТОВЛЕНОЇ ЗІ СТАЛІ 20***Roman Dmytriienko, Oleksandr Paliienko***BUILDING OF A REAL DIAGRAM OF DEFORMATION THROUGH THE EXAMPLE OF THIN-WALLED CYLINDRICAL SLEEVE WITH THICKNESS DEVIATION WITH BOTTOMS, MADE OF STEEL 20**

Раскрыт принцип построения действительной диаграммы деформирования на примере разнотолщинной, тонкостенной цилиндрической гильзы с днищами, изготовленной из стали 20. При механическом испытании образца на одноосное растяжение получена диаграмма растяжения. Представлены уточнения при построении действительной диаграммы деформирования, на примере растяжения образцов, вырезанных из тонкостенной цилиндрической гильзы с днищами, после ее испытаний внутренним гидравлическим давлением до разрушения. Обосновано, что тонкостенная цилиндрическая оболочка считается тогда, когда радиус срединной поверхности более чем в 10 раз превышает толщину стенки.

Ключевые слова: деформация, внутреннее давление, предел прочности, образцы растяжения, интенсивность напряжений, аппроксимация.

Рис.: 4. Табл.: 1. Библ.: 8.

Розкрито принцип побудови дійсної діаграми деформування на прикладі різнотовщинної, тонкостінної циліндричної гільзи з днищами, виготовленої зі сталі 20. При механічному випробуванні зразка на одноосовий розтяг отримана діаграма розтягування. Представлені уточнення під час побудови дійсної діаграми деформування, на прикладі розтягування зразків, вирізаних з тонкостінної циліндричної гільзи з днищами, після її випробувань внутрішнім гідралічним тиском до руйнування. Обґрунтовано, що тонкостінною циліндричною оболонкою вважається тоді, коли радіус серединної поверхні більший ніж у 10 разів перевищує товщину стінки.

Ключові слова: деформація, внутрішній тиск, межа міцності, зразки розтягування, інтенсивність напружень, апроксимація.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 8.

It revealed the actual principle of the deformation diagram of the example of different thickness, thin-walled cylindrical liner with bottoms made of steel 20. When the mechanical test specimen uniaxial tensile strain diagram obtained. Presented verifying the actual deformation in the construction diagrams of stretching the example samples cut from a thin-walled cylindrical sleeve bottoms, after testing the internal hydraulic pressure to fracture. It proved that thin-walled cylindrical sheath is considered when the radius of the middle surface is more than 10 times the wall thickness.

Key words: deformation, the internal pressure test, tensile strength, tensile specimens stress intensity, approximation.

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

Постановка проблемы. Широкомасштабное использование внутреннего гидравлического давления для проведения испытаний образцов цилиндрической формы с днищами ограничено предельными размерами кристаллизаторов по условиям формирования в них заготовки круглого сечения. Возникновение пластических деформаций в процессе проведения испытаний, а также сложность применения внутреннего гидравлического давления для проведения испытаний образцов цилиндрической формы делают невозможным изготовление образцов широкого спектра прочности, в отличие от, например, производства катаных заготовок. Возникшие трудности ставят перед металлургами, научными работниками и трубопрокатчиками новые научные, технические, технологические и организационные проблемы, требующие решения.

Большинство предприятий и компаний вынуждены предпринимать определенные шаги в направлении «унификации» заготовки цилиндрической гильзы с днищами, изготовленной из стали 20, в силу отсутствия собственных технологий для вторичного передела заготовок. В связи с этим разработана научно обоснованная принципа построения действительной диаграммы деформирования на примере разнотолщинной, тонко-

стенной цилиндрической гильзы с днищами, изготовленной из стали 20, является актуальной научно-технической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. В технической литературе возможность деформирования образцов цилиндрической формы рассматривается в работах В. П. Дядина [1], Р. И. Дмитриенко, Э. Ф. Гарфа, В. П. Чижиченко [2] и С. А. Куркина [3]. Данные работы объединяет утверждение, что увеличение диаметра заготовки, при прочих увеличении уровня внутреннего гидравлического давления, приводит к росту поперечной деформации на оправке, что, в свою очередь, способствует созданию опережения в осевом направлении.

В работе [4] Р. И. Дмитриенко, О. П. Масючок, А. В. Быков представлен краткий обзор метода испытания поверочным гидравлическим давлением баллонов с определением коэффициента остаточного расширения. Показано, что существующий в Украине регламент переосвидетельствования баллонов высокого давления, находящихся в эксплуатации, не может гарантировать необходимый запас прочности. Они основываются на определении коэффициента остаточного расширения, который является интегральной характеристикой технического состояния баллона.

Анализ методов определения коэффициента остаточного расширения приводится в работе [5]. Авторами детально описывается ряд методов с детальным обоснованием актуальности каждого.

Однако, несмотря на масштабность научных исследований, вопрос разработки научно обоснованного принципа построения действительной диаграммы деформирования на примере разнотолщинной, тонкостенной цилиндрической гильзы с днищами, изготовленной из стали 20, остается открытым и требует детальной проработки.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В процессе проведения испытаний цилиндрического образца на уровень возможной пластической деформации важно выявление дефектов наружной поверхности заготовки, которые являются следствием пороков в поверхностных слоях. Используя диаграмму растяжения, которая включает в себя усилие, действующее на образец, и обычную продольную деформацию, необходимо раскрыть принципы деформации при различной нагруженности и точку потери устойчивости равномерного пластического деформирования.

Однако согласно теории малых упругопластических деформаций изменение объема участка, выделенного в рабочей части образца, не происходит, в силу низкого коэффициента поперечной деформации, поэтому открытым вопросом является построение действительной диаграммы деформирования, основанной на диаграмме растяжения для сталей высокой пластичности.

Цель статьи. Предложить принцип построения действительной диаграммы деформирования на примере разнотолщинной, тонкостенной цилиндрической гильзы с днищами, изготовленной из стали 20. При механическом испытании образца на одноосное растяжение получить диаграмму растяжения. Обосновать уточнения при построении действительной диаграммы деформирования, на примере растяжения образцов, вырезанных из тонкостенной цилиндрической гильзы с днищами, после ее испытаний внутренним гидравлическим давлением до разрушения.

Изложение основного материала. При механическом испытании образца на одноосное растяжение получают диаграмму растяжения $\bar{\sigma}, \bar{\epsilon}$, где $\bar{\sigma}$ - напряжение как усилие F , действующее на образец, отнесенное к первоначальной площади его рабочего поперечного сечения A_0 , а $\bar{\epsilon}$ - обычная продольная деформация как удлинение некоторой базы, выделенной в продольном направлении образца, отнесенное к длине этой базы. То есть $\bar{\sigma} = F/A_0$, $\bar{\epsilon} = \Delta l/l_0$. Максимально реализовавшееся напряжение называется

тя временным сопротивлением, $\bar{\sigma}_B$. До $\bar{\sigma}_B$ образец деформируется равномерно, после чего идет образование шейки, т. е. образец теряет устойчивость равномерного пластического деформирования.

При растяжении образца в упругой области на величину продольной деформации \bar{e} , можно показать [6; 7], что относительное изменение некоего объема, выделенного вдоль рабочей части, с точностью величин второго порядка малости, равно сумме главных деформаций, в итоге: $\bar{e}_V = \bar{e}(1-2\mu) = \frac{\bar{\sigma}(1-2\mu)}{E}$, т. е. объем увеличивается. Относительная же

деформация площади поперечного сечения равна: $\bar{e}_A = -2\mu\bar{e} + (\mu\bar{e})^2 \approx -2\mu\bar{e}$, т. е. приблизительно сумме поперечных деформаций, площадь уменьшается. В упругой области эти изменения незначительны, деформации невелики, и ими, в принципе, можно пренебрегать. С увеличением деформации, за предел пропорциональности, коэффициент Пуассона (μ) стремится к 0,5 и практически близок этому значению уже при деформациях немногим больших $\bar{e}_{0,2}$. Поэтому в неупругой области, с ростом деформаций, следует, что,

$\bar{e}_V \rightarrow 0$, [6], а $\bar{e}_A \rightarrow -\bar{e} \left(1 - \frac{\bar{e}^2}{4} \right) \approx -\bar{e}$. В принципе пользоваться последней зависимостью

можно и за пределом упругости, погрешность ее невелика, но в пластической области хотя и принимается $\bar{e}_V = 0$, но она, строго говоря, не равна сумме главных деформаций.

В пластической области, пластическое изменение объема равно нулю, и определяется оно как сумма главных пластических составляющих деформаций. Условие несжимаемости при пластических деформациях выглядит следующим образом: $\varepsilon_{Vp} = \varepsilon_{1p} + \varepsilon_{2p} + \varepsilon_{3p} = 0$. Свойство аддитивности интенсивности логарифмических дефор-

маций: $\varepsilon_i = \varepsilon_{ie} + \varepsilon_{ip} = \frac{\sigma_i}{E} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{1p} - \varepsilon_{2p})^2 + (\varepsilon_{2p} - \varepsilon_{3p})^2 + (\varepsilon_{3p} - \varepsilon_{1p})^2}$. При одинаковом порядке величин упругой и пластической составляющей погрешность может составлять несколько процентов по сравнению с точным подсчетом.

При одноосном растяжении следует, $\varepsilon_{2p} = \varepsilon_{3p} = -\varepsilon_{1p}/2$, отсюда, $\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E} + \varepsilon_{ip} = \frac{\sigma_1}{E} + \varepsilon_{1p} = \varepsilon_1$.

Пренебрегая упругими составляющими деформаций, фактическую площадь лучше определить сразу из условия сохранения объема.

Итак, в области пластического деформирования, согласно теории малых упруго-пластических деформаций, коэффициент поперечной деформации принимается равным 0,5, и $\bar{e}_V = 0$, т.е. изменения объема участка, выделенного в рабочей части образца, не происходит: $A_0 l_0 = A(l_0 + \Delta l) = Al$, где A_0, l_0 первоначальные площадь поперечного сечения

образца и длина участка, а A, l - текущие его размеры. Поскольку $\frac{l}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = 1 + \bar{e}$, имеем,

$A = A_0 \frac{l_0}{l} = \frac{A_0}{1 + \bar{e}}$. То есть $\bar{e}_A = -\frac{\bar{e}}{1 + \bar{e}}$. Действительные напряжения, как усилие F , действующее на образец, отнесенное к фактической площади его рабочего поперечного сечения A , следовательно, равны: $\sigma_D = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} (1 + \bar{e}) = \bar{\sigma} (1 + \bar{e})$.

Учитывая вышеизложенное, действительную диаграмму деформирования σ_i, ε_i , до момента начала образования шейки, получаем из стандартной диаграммы растяжения $\bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}$ по следующим зависимостям: $\varepsilon_i = \ln(1 + \bar{\varepsilon})$, $\sigma_i = \bar{\sigma}(1 + \bar{\varepsilon})$, где под ε_i и σ_i понимаются интенсивности логарифмических деформаций и действительных напряжений (рис. 1). Упругими деформациями, в сравнении с пластическими, пренебрегаем, т. е. деформации под нагрузкой и после снятия нагрузки принимаем одинаковыми.

Действительно, что в упругой области данной диаграммой пользоваться нецелесообразно, для этого существуют зависимости теории упругости, а в области незначительных пластических деформаций возникает погрешность, которая уменьшается с ростом деформаций. Для описания упругопластического перехода диаграмму растяжения следует перестраивать в действительную диаграмму деформирования другими зависимостями.

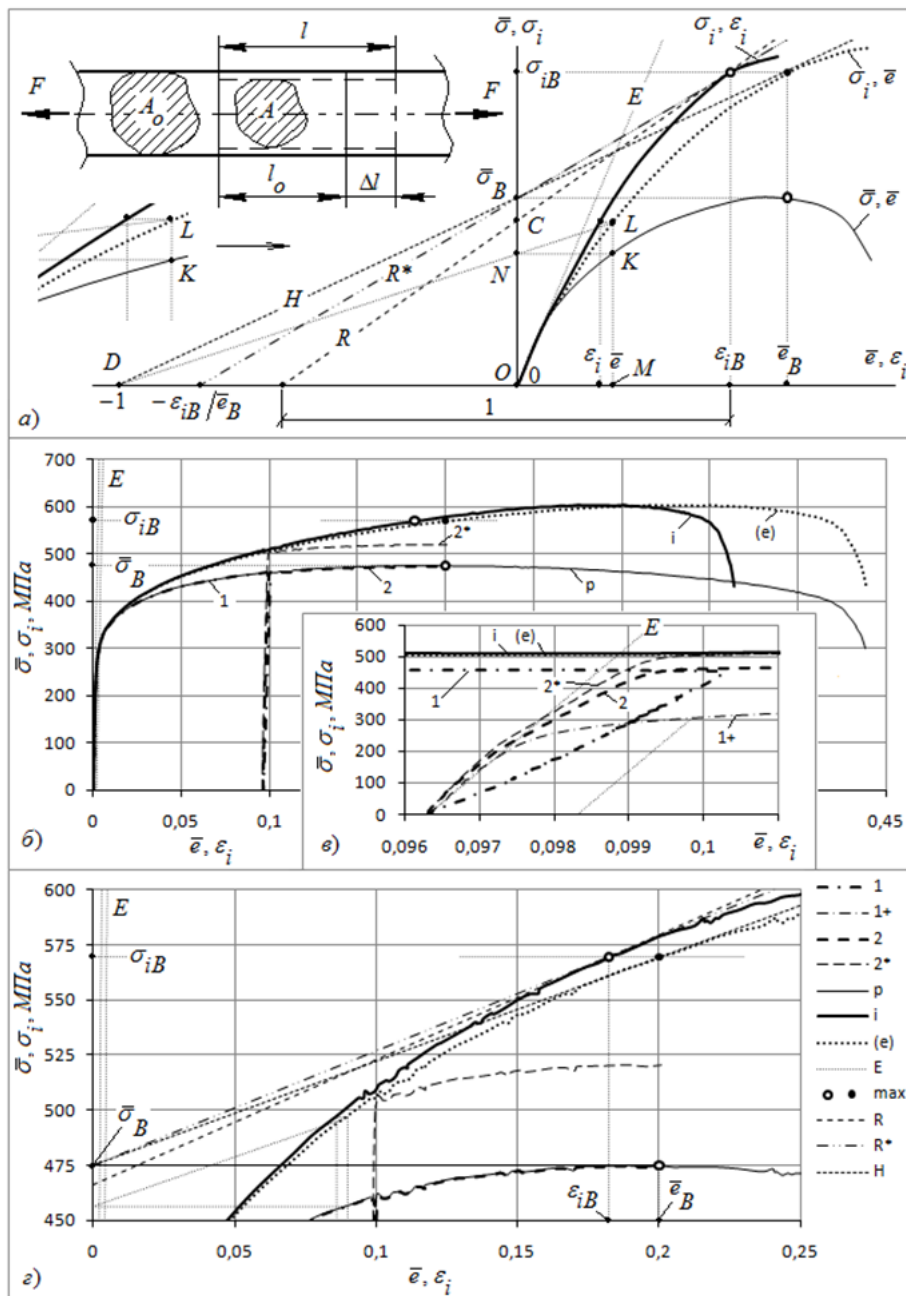


Рис. 1. Диаграмма растяжения образца и построенная по ней действительная диаграмма деформирования: а – схема; б, в, г – для образца К, (см. ниже)

Обозначения на рисунке 1: i - действительная диаграмма деформирования σ_i, ε_i ; p - диаграмма растяжения $\bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}$; (e) - диаграмма $\sigma_i, \bar{\varepsilon}$; E - деформации в соответствии с законом упругости; \max - точка, соответствующая пределу прочности; 1 и 2 - первое и второе растяжение образца; 1+ - смещенная диаграмма растяжения 1; 2* - второе растяжение в пересчете на площадь A_1 ; R - касательная к σ_i, ε_i в точке σ_{iB} ; H - к $\sigma_i, \bar{\varepsilon}$; R* - прямая, проходящая через точки $0, \bar{\sigma}_B$ и $\varepsilon_{iB}, \sigma_{iB}$.

В условиях пластического деформирования тонкостенного цилиндрического образца с днищами, нагруженного внутренним давлением, можно отдельно показать, что:

$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_t \approx 1,155 \varepsilon_t$, где ε_t - кольцевые деформации поверхности, образованной срединным радиусом. Это же справедливо и для обычных деформаций при $\mu=0,5$. Условно, тонкостенной цилиндрической оболочка считается тогда, когда радиус срединной поверхности более чем в 10 раз превышает толщину стенки [7; 8].

Испытание образцов на растяжение. Гидравлические испытания проводились в Институте электросварки им. Е. О. Патона (г. Киев). Испытания на одноосное растяжение проводились в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко (г. Киев), на испытательной машине УЕ-20. Съем и обработка информации производились специализированной программой (табл. 1).

Таблица 1

Механические свойства, полученные при испытании образцов на одноосное растяжение

Обозначение	Образцы-свидетели		Отжиг		Из разрушенной гильзы				
	K	O	K_a	K_b	$K_{0,009}$	$K_{0,12}$	$K_{0,07}$	$O_{0,11}$	$O_{0,05}$
$\bar{\varepsilon}_t^{*1)}$	-	-	-	-	0,0088	0,1223	0,0682	0,1126	0,0529
$\bar{\sigma}_T$, МПа		320	320						
$\bar{\sigma}_{02}$, МПа	305	314	316	285	340	465	440	505	425
$\bar{\varepsilon}_{02}$	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004
$\bar{\sigma}_B$, МПа	474,76	461,4	454,67	454,94	479,82	557,03	510,88	548,53	501,61
$\bar{\varepsilon}_B^{2)}$	0,200	0,230	0,197	0,230	0,197	0,073	0,162	0,027	0,178
$\delta, \%^{3)}$	33,13	40,97	33,56	31,49	26,74	11,43	20,85	15,01	29,26
Разр., $\%^{4)}$	45	27	32	32	35	44	42	27	31
$\Psi, \%$	48,24	54,60	54,75	46,57	52,31	23,63	36,61	49,84	55,84

1) - предварительная кольцевая деформация в составе гильзы.
2) - равномерная деформация.
3) - полная деформация по базам на образцах.
4) - положение разрыва на базе.

При анализе данных табл. 1 (рис. 2) можно проследить, что чем больше предварительная кольцевая деформация в составе гильзы, тем больше условный предел текучести, полученный на образцах и, естественно, деформация ему соответствующая, причем зависимость значительная и близка к пропорциональной. То же самое можно сказать и о временном сопротивлении, хотя зависимость от предварительной деформации менее значительна. Временное сопротивление пропорционально условному пределу текучести. Полная и равномерная же деформации значительно уменьшаются, и между собой они пропорциональны. Данные зависимости прослеживаются для всех образцов независимо от их ориентации, т. е. все образцы подчиняются некоей общей закономерности.

Что же касается относительного сужения, то для образцов в осевом направлении, с ростом предварительной кольцевой деформации в составе гильзы, оно не меняется, в отличие от образцов в кольцевом направлении, где уменьшение очень значительное.

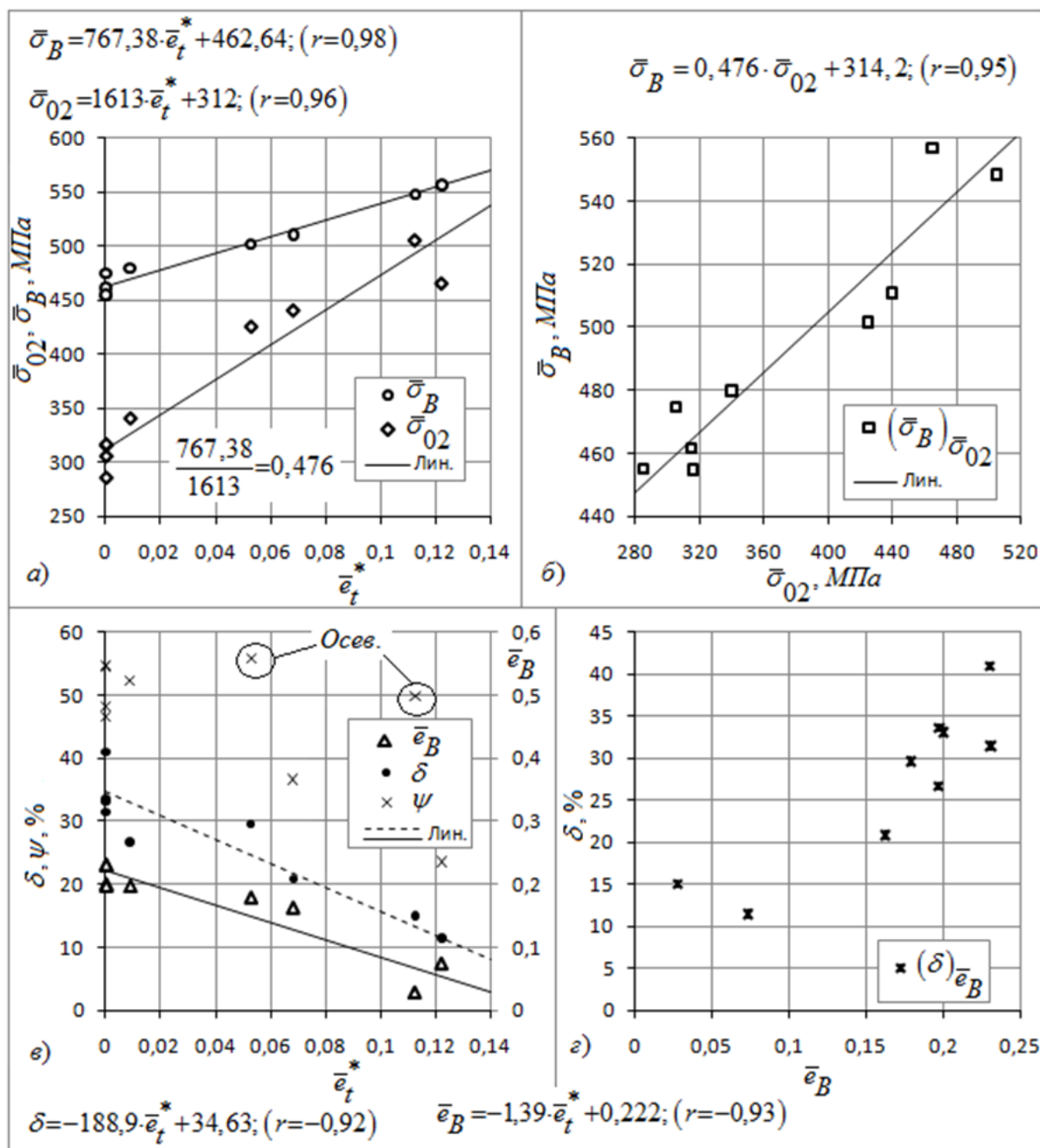


Рис. 2. Зависимости механических свойств от предварительной кольцевой деформации в составе гильзы: Лин. – линейная зависимость, близкая к биссектрисе между линиями регрессии, полученными методом наименьших квадратов; r – коэффициент корреляции

Обозначая через $\bar{\sigma}^*$, \bar{e}^* диаграмму растяжения образца вырезанного из гильзы и учитывая вышеизложенный материал, интенсивности напряжений и логарифмических деформаций получаем по следующим зависимостям (рис. 3, в):

$$\sigma_i = \bar{\sigma}^* \left(1 + \frac{\bar{e}^*}{1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{e}_t^*} \right), \quad \varepsilon_i = \ln \left(1 + \bar{e}^* + \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{e}_t^* \right).$$

Предельные значения, соответствующие временному сопротивлению, которых рав-

ны:
$$\sigma_{iB} = \bar{\sigma}_B^* \left(1 + \frac{\bar{e}_B^*}{1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{e}_t^*} \right), \quad \varepsilon_{iB} = \ln \left(1 + \bar{e}_B^* + \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{e}_t^* \right).$$

Данные зависимости применим для образцов, вырезанных в обоих направлениях.

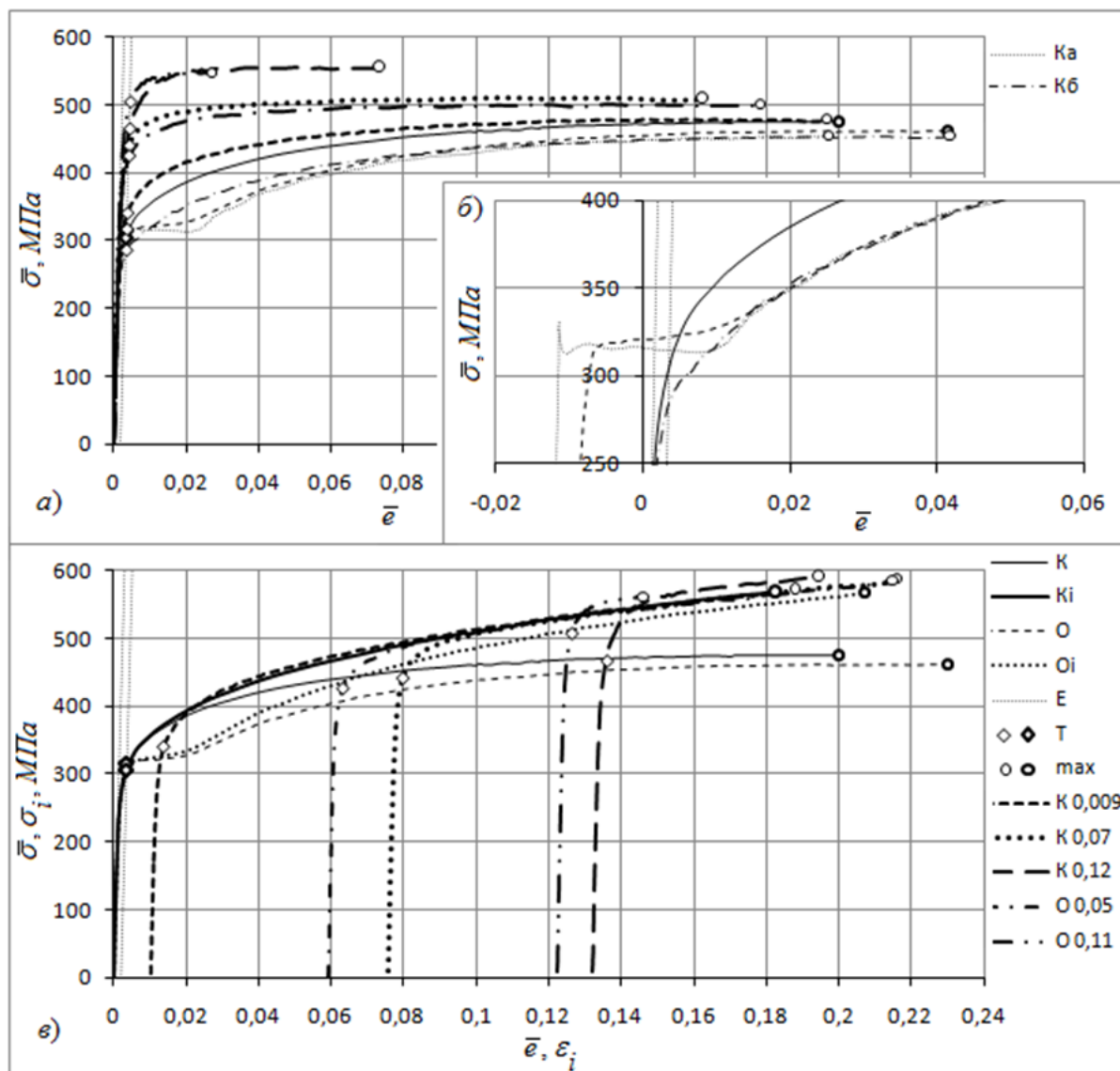


Рис. 3. Диаграммы растяжения образцов, а), б), и их действительные диаграммы деформирования, смещенные по оси абсцисс, в)

На рисунке 3, б) диаграммы растяжения образцов O и K_a смещены влево на величину деформации $\bar{\varepsilon}=0,01$ и $\bar{\varepsilon}=0,013$ соответственно, отсюда видно, что за площадкой текучести они совпадают с диаграммой $K_{\bar{\sigma}}$. На диаграмме K_a имеется зуб текучести.

Все действительные диаграммы деформирования, полученные для образцов, вырезанных из гильзы, целесообразно сравнивать с такой же диаграммой, полученной для кольцевого направления (Кі), т. к. она вследствие образования наклепа при выпрямлении образца также не имеет площадки текучести.

Проведенные исследования показывают, что рассматриваемый материал изотропен и обладает площадкой текучести, которая уничтожается при выпрямлении кольцевых образцов, либо же для всех образцов после предварительной пластической деформации.

Образцы, вырезанные из разрушенной гильзы в осевом направлении, подчиняются тем же закономерностям, что и кольцевые образцы (рис. 3, в), хотя в осевом направлении, как показывает теория и эксперимент, остаточных деформаций нет. Образцы, вырезанные в любом направлении, откликаются на интенсивность деформаций, которую создают кольцевые и радиальные (связанные с уменьшением толщины стенки) деформации.

Приравнивая предельные значения интенсивностей напряжений и логарифмических деформаций, соответствующих временному сопротивлению, полученные на образцах, вырезанных из гильзы к таким же, но полученным на образцах без предварительной деформации, растянутыми до разрушения за один раз: $\sigma_{iB} = \bar{\sigma}_B (1 + \bar{e}_B)$, $\varepsilon_{iB} = \ln(1 + \bar{e}_B)$, получаем:

$$\bar{e}_B = \bar{e}_B^* + \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{e}_t^*, \quad \bar{\sigma}_B = \bar{\sigma}_B^* \left(\frac{1 + \frac{\bar{e}_B^*}{1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{e}_t^*}}{1 + \bar{e}_B^* + \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{e}_t^*} \right). \quad \text{Эти выражения являются выр-$$

венными оценками временного сопротивления и деформации ему соответствующей.

Для случая двукратного одноосного растяжения образца из вышеприведенных выражений получаем: $\bar{e}_B = \bar{e}_B^* + \bar{e}^*$, $\bar{\sigma}_B = \bar{\sigma}_B^* \left(\frac{1 + \frac{\bar{e}_B^*}{1 + \bar{e}^*}}{1 + \bar{e}_B^* + \bar{e}^*} \right) = \frac{\bar{\sigma}_B^*}{1 + \bar{e}^*}$. Что касается

условного предела текучести, то его выравнивание таким методом неприемлемо.

После испытаний тонкостенных сосудов внутренним давлением до разрушения иногда из них вырезают образцы на растяжение для проверки механических свойств. При этом в случае больших пластических деформаций сосуда, естественно, получают весьма недостоверные результаты.

При нагружении внутренним давлением тонкостенной цилиндрической оболочки с днищами можно принимать плоское напряженное состояние, т. е. радиальные напряжения равны нулю. Отсюда интенсивность напряжений в упругой области выражается через кольцевые напряжения и внутреннее давление следующим образом:

$$\bar{\sigma}_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{\sigma}_t = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{Pr_0}{s_0},$$

где r_0, s_0 – первоначальные значения радиуса срединной цилиндрической поверхности и толщины стенки.

Если вместо r_0, s_0 подставлять текущие их значения, а именно r, s , то этим выражением можно пользоваться и в случае больших пластических деформаций. Процесс нагружения не только при малых, но и при больших деформациях является простым [6]. Поэтому, пренебрегая упругими деформациями по сравнению с пластическими, считая, что материал несжимаем, при больших деформациях можно использовать теорию малых упругопластических деформаций, заменяя при этом обычные деформации

на логарифмические. Откуда можно показать, что: $\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_t = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{r}{r_0}$, или

$\varepsilon_i = -\frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_s = -\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{s}{s_0}$, а осевые деформации равны нулю [6]. Отсюда, $r = r_0 e^{\varepsilon_t}$ и

$s = s_0 e^{\varepsilon_s}$, а $\varepsilon_s = -\varepsilon_t$, следовательно, $\sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Pr}{s} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Pr_0 e^{2\varepsilon_t}}{s_0} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Pr_0}{s_0} e^{\sqrt{3}\varepsilon_i}$.

При нагружении внутренним давлением цилиндрической трубы с днищами, анализируя взаимосвязи, интенсивность выражается через кольцевое направление следующим образом:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{\sigma}_t; \bar{\varepsilon}_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\varepsilon}_t, \quad \sigma_t = \bar{\sigma}_t (1 + \bar{\varepsilon}_t); \sigma_i = \bar{\sigma}_i (1 + \bar{\varepsilon}_t) \\ \sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_t; \varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t = \ln(1 + \bar{\varepsilon}_t); \varepsilon_i \neq \ln(1 + \bar{\varepsilon}_i) \end{aligned}$$

здесь связь интенсивностей деформаций с кольцевыми, только для области пластических деформаций. Следует отметить, что произведение напряжений и деформаций при пластических деформациях обладает некой инвариантностью:

$$\bar{\sigma}_i \bar{\varepsilon}_i = \bar{\sigma}_t \bar{\varepsilon}_t; \sigma_i \varepsilon_i = \sigma_t \varepsilon_t; \bar{\sigma}_i \varepsilon_i = \bar{\sigma}_t \varepsilon_t; \sigma_i \bar{\varepsilon}_i = \sigma_t \bar{\varepsilon}_t.$$

Замечание:

Для тонкостенной цилиндрической оболочки с днищами нагруженной внутренним давлением, $\sigma_r = 0$, а $\varepsilon_{zp} = 0$, следовательно $\varepsilon_{sp} = -\varepsilon_{tp}$.

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{te} + \varepsilon_{tp}, \quad \varepsilon_{te} = \frac{1}{E} (\sigma_t - \mu \sigma_z) = \frac{\sigma_t}{E} \left(1 - \frac{\mu}{2}\right), \quad \text{при } \mu = 0,3, \quad \varepsilon_{te} = 0,85 \frac{\sigma_t}{E}, \quad \text{а при } \mu = 0,5, \\ \varepsilon_{te} = \frac{3\sigma_t}{4E} = 0,75 \frac{\sigma_t}{E}.$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E} + \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_{tp}, \quad \text{при } \mu = 0,3, \quad \varepsilon_i = \frac{\sqrt{3}}{2 \cdot 0,85} \varepsilon_{te} + \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_{tp}, \quad \text{а при } \mu = 0,5, \quad \varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} (\varepsilon_{te} + \varepsilon_{tp}) = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_t.$$

Остаточные, после разрушения гильзы, кольцевые логарифмические деформации можно приравнять к деформациям баз в сечениях I, II, III, т. е. $\varepsilon_t = \ln l / l_0$, где l_0, l , длина участка выделенного в кольцевом направлении, до деформации и после. Затем можно получить интенсивности деформаций на участках. Беря для каждого конкретного участка текущий радиус как половину эквивалентного наружного диаметра соответствующего сечения, минус половина толщины стенки, естественно, замеренных после разрушения, и максимальное давление, которое выдержала гильза, подставляя конечное значение толщины стенки для каждого участка, находим интенсивность напряжений. Данные представлены на рис. 4. Данные расчета особо не изменятся, если брать не средний, а наружный радиус, либо расчет проводить по r_0, s_0 с учетом интенсивности деформаций. Из рис. 4 видно, что построенные таким образом точки следуют действительной диаграмме деформирования, хотя немного не совпадают с ней в силу возможных погрешностей измерения.

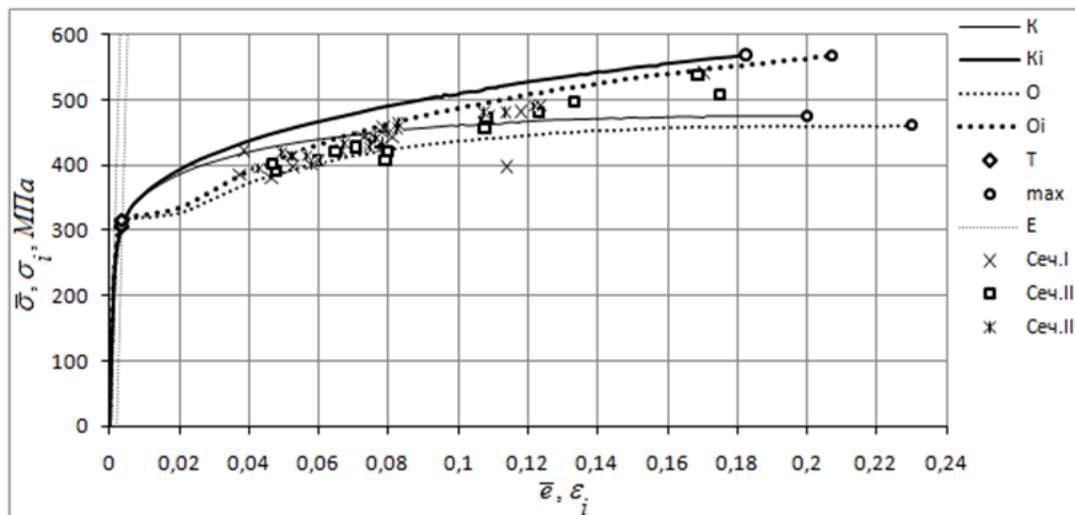


Рис. 4. Сравнение результатов пересчета с действительной диаграммой деформирования

Вывод. Для оценки механических свойств, получаемых при испытании образцов на растяжение, вырезанных из тонкостенных цилиндрических сосудов, доведенных внутренним давлением до разрушения, необходимо учитывать уровень остаточных кольцевых деформаций этих сосудов, особенно если они изготовлены из сталей, обладающих высокой пластичностью.

Независимо от направления вырезаемых образцов, кольцевое либо осевое, дальнейшее их деформирование следует действительной диаграмме деформирования, и для изотропных материалов она одинакова.

Список используемых источников

1. Дядин В. П. Влияние предварительного деформирования на ударную вязкость образца Шарпи при разрушении / В. П. Дядин // Автомат. сварка. – 2007. – № 1. – С. 28–33.
2. Дмитриенко Р. И. Остаточное расширение баллонов (краткий обзор) / Р. И. Дмитриенко, Э. Ф. Гарф, В. П. Чижиченко // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – № 1. – С. 23–28.
3. Куркин С. А. Прочность сварных тонкостенных сосудов, работающих под давлением / С. А. Куркин. – М. : Машиностроение, 1976. – 184 с.
4. Дмитриенко Р. И. Остаточное расширение баллонов. Промежуточные результаты испытаний / Р. И. Дмитриенко, О. П. Масючок, А. В. Быков // ДНИ НА БЕЗРАЗРУШИТЕЛЬНИЙ КОНТРОЛ 2014, Сборник доклады. Юни 09-17, 2014 = XXIX International Conference “NDT 2014” (Sozopol, Bulgaria). – Созопол, България. Научни известия на НТСМ, год. XXII, бр. 1 (150), 2014. – С. 561–566.
5. Дмитриенко Р. И. Методика определения остаточного расширения баллонов / Р. И. Дмитриенко, М. Миховский // ДНИ НА БЕЗРАЗРУШИТЕЛЬНИЙ КОНТРОЛ 2014, Сборник доклады. Юни 09-17, 2014 = XXIX International Conference “NDT 2014” (Sozopol, Bulgaria). – Созопол, България. Научни известия на НТСМ, год. XXII, бр. 1 (150), 2014. – С. 494–499.
6. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести : учебник для студентов вузов / Н. Н. Малинин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
7. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев ; отв. ред. Г. С. Писаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Наук. думка, 1988. – 736 с.
8. Каримов И. Сопротивление материалов : электронный учебный курс для студентов очной и заочной формы обучения [Электронный ресурс] / Ильдар Каримов. – Режим доступа : <http://www.soprotmat.ru/obol.htm>.

References

1. Diadin, V.P. (2007). Vliianie predvaritel'nogo deformirovaniia na udarnuiu viazkost obraztca SHarpi pri razrushenii [Influence of pre-deformation on impact toughness of Charpy sample in fracture]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic Welding*, no. 1, pp. 28–33 (in Russian).

2. Dmitrienko, R.I., Garf, E.F. & V P Chizhichenko (2014). Ostatechnoe rasshirenie ballonov (kratkii obzor) [Residual expansion of cylinders (Brief review)]. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol – Technical Diagnostics and Nondestructive Testing*, no. 1, pp. 23–28 (in Russian).
3. Kurkin, S.A. (1976). *Prochnost svarykh tonkostennykh sudov rabotaiushchikh pod davleniem [The strength of welded thin-walled vessels, working under pressure]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
4. Dmitrienko, R.I., Masiuchok, O.P., Bykov, A.V. (2014). Ostatechnoe rasshirenie ballonov. Provezhutochnye rezultaty ispytaniy [Residual extension cylinders. Intermediate test results]. *DNI NA BEZRAZRUSHITELNIIA KONTROL 2014, Sbornik dokladi. IUni 09-17 2014 – XXIX International Conference “NDT 2014” (Sozopol, Bulgaria)*. Sozopol, Blgariia. Nauchni izvestiia na NTSM, god XXII br 1 (150), pp. 561–566 (in Russian).
5. Dmitrienko, R.I., Mikhovskii, M. (2014). Metodika opredeleniia ostatechnogo rasshireniia ballonov [Method of determining the residual expansion cylinders]. *DNI NA BEZRAZRUSHITELNIIA KONTROL 2014, Sbornik dokladi. IUni 09-17 2014 – XXIX International Conference “NDT 2014” (Sozopol, Bulgaria)*. Sozopol, Blgariia. Nauchni izvestiia na NTSM, god XXII br 1 (150), pp. 494–499 (in Russian).
6. Malinin, N.N. (1975). *Prikladnaia teoriia plastichnosti i polzuchesti [Applied theory of plasticity and creep]* (2nd ed., rev.). Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
7. Pisarenko, G.S. (ed.), Yakovlev, A.P. & Matveev, V.V. (1988). *Spravochnik po soprotivleniiu materialov [Handbook of resistance of materials]* (2nd ed., rev.). Kyiv: Nauk. dumka (in Russian).
8. Karimov Ildar. *Soprotivlenie materialov [Strength of materials]*. Retrieved from <http://www.soprotmat.ru/obol.htm>.

Дмитриенко Роман Игоревич – ведущий инженер-технолог ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Боженко, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Дмитрієнко Роман Ігорович – провідний інженер-технолог Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона (вул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Dmytriienko Roman – Lead Process Engineer Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine (11 Bozhenka Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

E-mail: dril@ukr.net

Палиєнко Александр Леонидович – ведущий инженер-технолог ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Боженко, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Палієнко Олександр Леонідович – провідний інженер-технолог Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона (вул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Paliienko Oleksandr – Lead Process Engineer Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine (11 Bozhenka Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.42

Віталій Кальченко, Володимир Кальченко, Ярослав Кужельний

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАПРУЖЕНОСТІ ПІД ЧАС ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

Віталій Кальченко, Володимир Кальченко, Ярослав Кужельний

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОАПРУЖЕННОСТИ ВО ВРЕМЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Kalchenko, Yaroslav Kuzhelnyi

ANALYSIS OF METHODS OF RESEARCH OF THERMAL STRESS DURING THE GRINDING PROCESS

Для досягнення високої якості поверхневого шару відповідальних деталей, необхідно максимально точно визначити параметри фінішної обробки. Саме процес шліфування найбільше впливає на якість виготовленої деталі. Високі температури, що виникають під час обробки, можуть негативно впливати на механічні властивості матеріалу деталі. Для забезпечення високої ефективності та оптимізації фінішної обробки деталі необхідно використовувати метод, що дає можливість найбільш точно описати теплонапруженість процесу шліфування.

Роботу присвячено аналізу теплонапруженості процесу шліфування, визначенню способів розрахунку температури та об'ємного розподілу тепла у процесі оброблення пластичних матеріалів. Розглянуто основні причини виникнення дефектів під час шліфування та методи їх усунення. Визначено фактори, що впливають на формоутворення та якість поверхневого шару обробленої деталі.

Ключові слова: процес шліфування, теплонапруженість, розподіл тепла, адіабатичні стержні, моделювання процесу різання.

Рис.: 6. Бібл.: 12.

Для досягнення високого качества поверхностного слоя ответственных деталей, необходимо максимально точно определить параметры финишной обработки. Именно процесс шлифования влияет на качество изготовленной детали. Высокие температуры, возникающие во время обработки, могут негативно влиять на механические свойства материала детали. Для обеспечения высокой эффективности и оптимизации финишной обработки детали, необходимо использовать метод, который дает возможность наиболее точно описать теплонапряженность процесса шлифования.

Работа посвящена анализу теплонапряженности процесса шлифования, определению способов расчета температуры и объемного распределения теплоты при обработке пластических материалов. Рассмотрены основные причины возникновения дефектов при шлифовании и методы их устранения. Определены факторы, влияющие на формообразование и качество поверхностного слоя обработанной детали.

Ключевые слова: процесс шлифования, теплонапряженность, распределение тепла, адиабатические стержни, моделирование процесса резания.

Рис.: 6. Библ.: 12.

To achieve the high quality of the surface layer of critical parts, must be as accurate as possible to determine the parameters of finishing. This grinding process affects the quality of manufactured parts. The high temperatures, that occur during processing, may adversely affect the mechanical properties of the parts of the material. To ensure efficiency and optimization of the finishing details, you must use a method that makes it possible to more accurately describe the thermal stress grinding process.

This article seeks to analyze the thermal stress of the grinding process, the definition of the calculation methods of temperature and volumetric heat distribution in the processing of plastic materials. Examines the main causes of grinding defects and their rectification. The factors affecting the formation and quality of the surface layer of the treated parts.

Key words: the grinding process, thermal stress, heat distribution, adiabatic cores, modeling of the cutting process.

Fig.: 6. Bibl.: 12.

Постановка проблеми. Для забезпечення підвищених вимог до точності розмірів та якості поверхневого шару відповідальних деталей необхідно звертати особливу увагу на їх фінішну обробку. До таких фінішних операцій відносяться: шліфування, доведення, полірування.

Шліфування являє собою вид оброблення, що здійснюється за допомогою абразивного інструмента, ріжучим елементом якого є зерна абразивних матеріалів.

Складність дослідження процесу шліфування полягає у стохастичному характері процесу. Це пов'язано з імовірнісним розташуванням самих абразивних зерен та їх ку-

тів різання. При цьому сили різання постійно змінюються за величиною та напрямком дії, що негативно впливає на якість поверхні оброблюваних деталей.

Один із основних факторів, що впливає на якість формоутворення поверхневого шару обробленої деталі, є величина температури та її розподіл під час процесу шліфування. Саме визначення оптимальних методів дослідження теплонапруженості під час процесу шліфування сприятиме підвищенню ефективності фінішної обробки деталей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемою розподілу теплоти під час шліфування займалися такі вчені: О. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Ю. А. Сизий, Л. Н. Филимонов [10], А. В. Рудик [6] та інші.

У роботі [11] розглянуто основні дефекти, що виникають під час шліфування. Запропоновано використання переривчастих шліфувальних кругів, що забезпечують оптимальний температурний режим процесу обробки. Проте не було описано використання цього методу для високошвидкісного шліфування.

У роботах [3; 4; 5; 8] були запропоновані методи визначення розподілу температури під час шліфування, використовуючи метод адіабатичних стержнів. Але цей метод не враховує виділення тепла в бокові сторони від вісі стержня.

У фундаментальній роботі [2] запропоновано використовувати комп'ютерне моделювання для опису процесу шліфування, використовуючи метод скінченних елементів. Такий спосіб дослідження теплонапруженості має недосконалі алгоритми моделювання процесів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відсутність аналізу методів дослідження теплонапруженості під час шліфування з урахуванням об'ємного розподілу тепла.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз методів дослідження теплонапруженості під час шліфування з урахуванням об'ємного розподілу тепла. Це дозволить визначити найбільш оптимальний метод дослідження, який максимально точно опише теплові процеси, що відбуваються під час процесу шліфування.

Виклад основного матеріалу. О. В. Якимов [11] розглядав різноманітні дефекти (прижоги, залишкові напруження, тріщини тощо), що виникають у процесі шліфування. Подібні дефекти відбуваються внаслідок нагрівання поверхневого шару деталі до високих температур. Для підвищення якості поверхневого шару шліфувальних деталей, необхідно підбирати режими шліфування, абразивний інструмент з відповідними характеристиками, вид змащувально-охолоджувальних рідин і спосіб їх підведення у зону різання, підвищенні якості шліфувальних кругів за рахунок розробки нових зв'язок та матеріалів для них.

Також у своїй роботі О. В. Якимов розглядав температурні процеси під час шліфування. Була введена формула (1) для визначення температури по глибині шліфувальної поверхні:

$$Q_y = \frac{q}{2} \sqrt{\frac{2\pi h}{\lambda C_\gamma V} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x\sqrt{V}}{2\sqrt{ah}} \right) \right]}, \quad (1)$$

де q – густина теплового потоку, Дж/см²·с;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу оброблюваної деталі, Вт/(м·К);

α – коефіцієнт температуропровідності, м²/с;

C – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

γ – густина матеріалу, що обробляється, кг/м³;

h – ширина джерела теплоти, м;

V – швидкість впливу джерела теплоти, м/с.

Для зменшення негативного впливу підвищених температур під час шліфування, Якимов О.В. запропонував використовувати переривчасті шліфувальні круги для запобігання збільшення температур до критичних значень. Цей метод отримав назву шліфування переривчастими кругами (рис. 1).

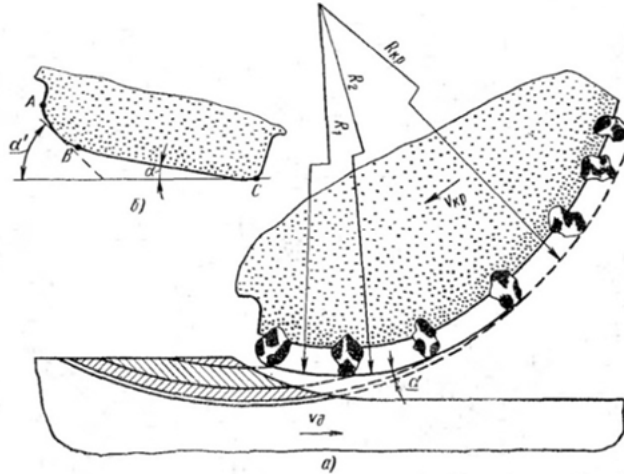


Рис. 1. Схема роботи абразивних зерен при переривчастому шліфуванні

Джерело: [11].

За такого методу шліфування кількість ріжучих зерен кругів з переривчастою робочою поверхнею менше, ніж у звичайних кругів. Переривчасті круги мають високу вентиляційну здатність, тобто подають у зону різання потужний потік повітря, що видуває стружку із зони різання та зменшує засалювання круга. Це дає змогу зменшити величину температури під час шліфування, що у свою чергу зменшує такі дефекти, як припінання, тріщини тощо.

Ф. В. Новиков у своїх роботах [3; 4] здійснював розроблення математичної моделі формування температури під час шліфування, що ґрунтується на врахуванні балансу тепла, яке відводиться в стружку та оброблювану деталь.

У цій роботі при вирішенні задачі визначення температури у процесі шліфування, було враховано рух теплового джерела у глибину поверхневого шару оброблюваної деталі. Тобто оброблюваний матеріал було умовно зображено у вигляді адіабатичних стержнів (рис. 2).

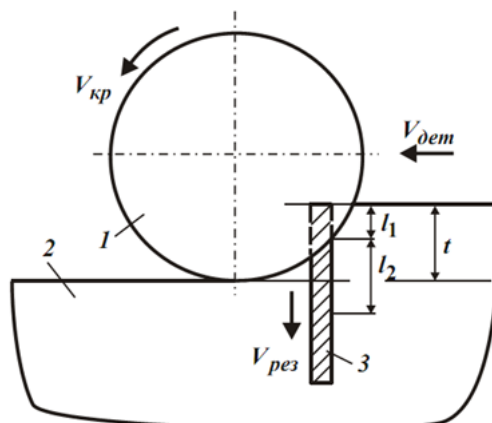


Рис. 2. Розрахункова схема процесу шліфування:

1 – шліфувальний круг; 2 – оброблювана деталь; 3 – адіабатичний стержень

Джерело: [4].

Автором було розроблено метод визначення температури шліфування, що базується на основі аналітичних залежностей (2).

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z, \quad (2)$$

де σ – умовне напруження різання, Н/м²;

c – питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·К);

ρ – густина оброблюваного матеріалу, кг/м³;

z – відносна величина температури ($z=0\dots 1$), що визначається із рівняння (3):

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t \cdot V_{\text{піз}} = -\ln(1-z) - z, \quad (3)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу, Вт/(м·К);

t – глибина шліфування, м;

$V_{\text{піз}}$ – швидкість переміщення теплового джерела по нормалі до напрямку руху круга, м/с.

Як показано в роботі [4], зменшення відносної величини температури пов'язано з підвищенням кількості тепла, що переміщується в оброблювану деталь. При цьому суттєво збільшується глибина, на яку проникає температура в поверхневий шар оброблюваної деталі.

Грунтуючись на роботах [3; 4; 11], Ю. А. Сизий продовжив дослідження процесу теплонапруженості під час шліфування, використовуючи метод адіабатичних стержнів (рис. 3). Цей метод ґрунтується на представленні шару металу, що зрізується шліфувальним кругом (зерном), як сукупність адіабатичних стержнів.

У роботі [8] Ю. А. Сизий надає рішення задачі розподілу тепла на основі класичного рівняння теплопровідності.

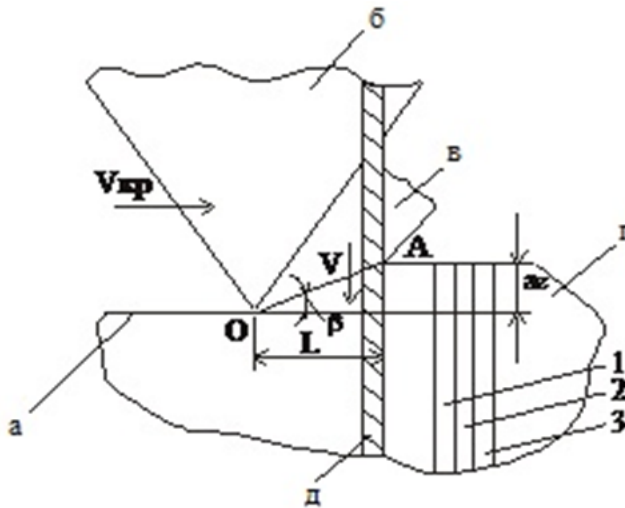


Рис. 3. Розрахункова схема мікрорізання:

а – оброблена поверхня; *б* – абразивне зерно; *в* – стружка; *г* – оброблювана поверхня; *д* – адіабатичний стержень; $V_{\text{кр}}$ – швидкість обертання шліфувального круга; 1,2,3 – адіабатичні стержні; az – товщина шару стружки, що зрізується; L – довжина від абразивного зерна до адіабатичного стержня
Джерело: [8].

Для спрощення задачі теплопровідності було прийнято, що адіабатичні стержні не випромінюють тепло в боки від вісі стержня сторони.

Задача описання температури у стружці була зведена до задачі описання температурного поля в адіабатичному стержні та плоского перпендикулярного джерела тепла, що рухається вздовж стержня (рис. 4).

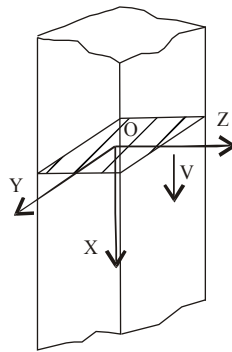


Рис. 4. Адіабатичний стержень з плоским джерелом тепла у площині ZOx, що рухається вздовж вісі X зі швидкістю V

Джерело: [8].

Задача теплопровідності для джерела тепла, що рухається в адіабатичному стержні, буде мати такий вигляд (4):

$$T(x,t) = \frac{q}{2 \cdot C\rho \cdot \sqrt{\pi \cdot \alpha}} \cdot \int_0^\tau \frac{dt}{\sqrt{\tau-t}} \exp\left(-\frac{[x + V(\tau-t)]^2}{4 \cdot \alpha \cdot (\tau-t)}\right), \quad (4)$$

де q – щільність теплового потоку на площині зсуву, Дж/см²·с;

α – коефіцієнт температуропровідності, см²/с;

$C\rho$ – об’ємна теплоємність, Дж/см³·град;

x – координата вздовж вісі стержня;

τ – час спостереження за температурним полем, с.

Питання теплонапруженості під час різання одиничним абразивним зерном шліфувального круга, також були розглянуті в роботах Ю. А. Сизого [6; 7].

Метод адіабатичних стержнів значно спрощує процес описання теплонапруженості під час шліфування.

За останній час технології віртуального моделювання набули достатньо великого розвитку. За їх допомогою можливо з найменшими затратами виконувати моделювання різноманітних процесів та їх оптимізацію. При цьому натуральні експерименти використовується як перевірочні.

Використовуючи досягнення новітніх технологій, Д. В. Криворучко у своїй роботі [2] здійснював моделювання процесів лезової обробки. Процес моделювання був оснований на методі скінченних елементів [1].

Дослідження моделювання процесів різання класифікують за трьома напрямками (рис. 5): створення моделей та дослідження їх точності, дослідження робочих процесів, оптимізація робочих процесів.

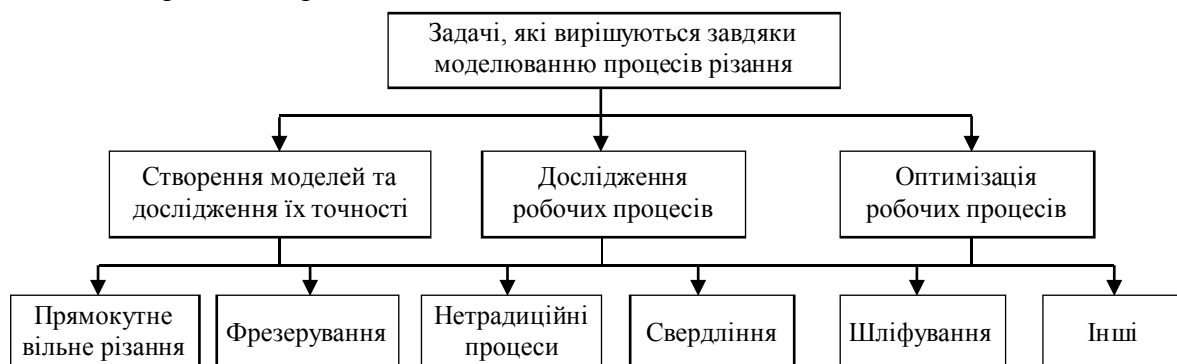


Рис. 5. Класифікація напрямків досліджень при постановці задачі прогнозованого моделювання
Джерело: [2].

Використовуючи комп'ютерне моделювання, можливо створити віртуальну модель високошвидкісного різання із широким діапазоном вхідних даних, оптимізувати його та змоделювати принципово нові процеси.

Цей метод дає можливість спрогнозувати напружено-деформований стан, форми і розміри стружки, форму обробленої поверхні, проекції сил різання, розподіл температури під час процесу шліфування та змоделювати точки контакту зерна з деталлю залежно від напрямку швидкості різання.

За допомогою високошвидкісної відеозйомки ми маємо можливість порівняти результати моделювання процесу різання з реальним експериментом (рис. 6).

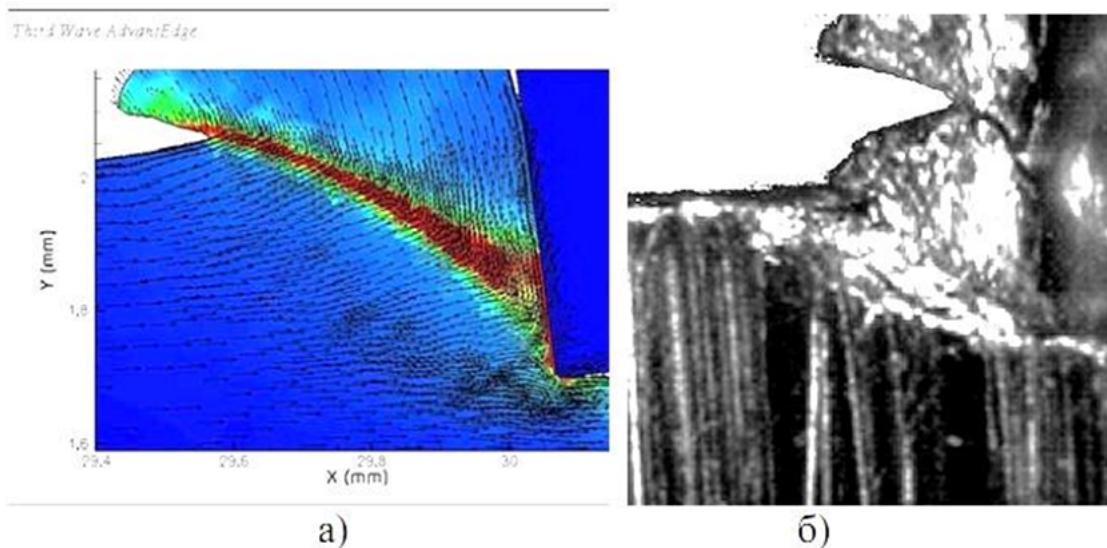


Рис. 6. Порівняння результатів моделювання елементного стружкоутворення (а) та високошвидкісної відеозйомки (б)

Джерело: [12].

Існує достатньо велика кількість програмного забезпечення для моделювання процесу різання. До них відносяться: DEFORM, THIRD WAVE ADVANTEDGE (TWA), ABAQUS, LS-DYNA, ANSYS, FORGE.

Проте 3D-моделювання процесів різання має достатньо велику похибку в порівнянні з натуральними експериментами. До основних причин виникнення похибок можна віднести недостатній розвиток алгоритмів моделювання процесу руйнування, а також неточність вихідних даних.

У роботі [2] Д. В. Криворучко пропонує методи усунення цих похибок:

- розроблення та впровадження основних принципів практичної реалізації прогнозуючих моделей, які передбачують прогнозування допустимої похибки розрахунку показників процесу різання з урахуванням невизначеності вхідних даних;
- здійснення раціонального спрощення розрахункової схеми задачі;
- визначення раціональних параметрів розв'язувача та порівняння результатів розрахунків з результатами натурального експерименту в еквівалентних умовах.

Висновки і пропозиції. Проаналізовано теплонапруженість процесу шліфування, способи розрахунку температури та об'ємний розподіл тепла під час оброблення пластичних матеріалів. Розглянуто основні причини виникнення дефектів при шліфуванні та методи їх усунення. Визначено фактори, що впливають на формоутворення та якість поверхневого шару обробленої деталі.

Нині одним із прогресивних методів дослідження теплонапруженості процесу шліфування є використання комп'ютерного моделювання. Цей метод дає можливість створювати різноманітні моделі процесу шліфування з широким діапазоном вхідних даних.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Хоч цей метод і має певні недоліки, проте вже існують практичні рекомендації, що дають змогу мінімізувати похибки, які виникають під час моделювання різноманітних процесів.

Отже, метод комп'ютерного моделювання дає можливість детально дослідити теплонапруженість процесу шліфування та має потужні резерви для подальшого розвитку.

Список використаних джерел

1. Дубенець В. Г. Основи методу скінченних елементів : навч. посіб. / В. Г. Дубенець, В. В. Хільчевський, О. В. Савченко. – Чернігів : ЧДТУ, 2007. – 348 с.
2. Криворучко Д. В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы : монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого. – Сумы : Университетская книга, 2012. – 496 с.
3. Новиков Ф. В. Исследования теплонапряженности процессов шлифования / Ф. В. Новиков, И. А. Рябенков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Вып. 2, № 4 (32). – С. 41–44.
4. Новиков Ф. В. Математическая модель определения температуры при шлифовании на основе учета баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь / Ф. В. Новиков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2007. – Вип. 61. – С. 23–33.
5. Новиков Ф. В. Теоретический анализ условий повышения качества обработки по температурному критерию / Ф. В. Новиков, И. А. Рябенков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2007. – Вип. 61. – С. 164–171.
6. Рудик А. В. Взаемозв'язок товщини зрізу з температурою торцевого шліфування під час врахування технологічних факторів / А. В. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2012. – № 2 (57). – С. 58–62.
7. Сизый Ю. А. О балансе тепла от работы деформации на плоскости сдвига при резании единичным абразивным зерном / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталинский, А. Н. Ушаков // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування машинознавство. – 2010. – Вип. 7 (166). – С. 65–75.
8. Сизый Ю. А. О мгновенной температуре шлифования / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталинский, А. Н. Ушаков // Вестник национального технического университета ХПИ. – 2009. – № 2. – С. 97–116.
9. Сизый Ю. А. Температура самоподогрева при шлифовании / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталинский, А. Н. Ушаков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вип. 1, № 5 (37). – С. 24–37.
10. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с. : ил.
11. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М. : Машиностроение, 1975. – 175 с.
12. Sekhon G. S. Numerical simulation of continuous chip formation during non-steady orthogonal cutting / G. S. Sekhon, J. L. Chenot // Engng Computations. – 1993. – Issue 10. – P. 31–48.

References

1. Dubenets, V.H., Khilchevskiy, V.V., Savchenko, O.V. (2007). *Osnovy metodu skinchennykh elementiv [Fundamentals of finite element method]*. Chernihiv: ChDTU (in Ukrainian).
2. Kryvoruchko, D.V., Zaloha, V.A. (2012). *Modelirovanie protsessov rezaniia metodom konechnukh elementov: metodologicheskie osnovu [Simulation of the cutting process using finite element method: methodological bases]*. Sumu: Unyversytetskaia knyha (in Russian).
3. Novikov, F.V., Riabenkov, I.A. (2008). *Issledovaniia teplonapriazhennosti protsessov shlifovaniia [Research thermal stress of grinding processes]*. *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovukh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, issue 2, no. 4 (32), pp. 41–44 (in Russian).
4. Novikov, F.V. (2007). *Matematicheskaia model opredeleniia temperatury pri shlifovanii na osnove ucheta balansu tepla, ukhodiashchego v obrazuiushchiesia struzhki i obrabatuvaemuiu detal [A mathematical model for determining the temperature during grinding by taking into account the heat balance, leaving in formed chips and work piece]*. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho*

universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka – Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture. Peter Vasilenko, issue 61, pp. 23–33 (in Russian).

5. Novikov, F.V., Riabenkov, Y.A. (2007). Teoretycheskii analiz uslovii povusheniia kachestva obrabotki po temperaturnomu kriteriiu [Theoretical analysis of the conditions for improving the quality of thermal processing criteria]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka – Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture. Peter Vasilenko, issue 61, pp. 164–171 (in Russian).*

6. Rudyk, A.V. (2012). Vzaiemozviazok tovshchyny zrizu z temperaturoiu tortsevoho shlifuvannia pid chas vrakhuvannia tekhnolohichnykh faktoriv [Relationship slice thickness with temperature mechanical polishing process while taking into account factors]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University, no. 2(57), pp. 58–62 (in Ukrainian).*

7. Sizi, Y.A., Stalinskiy, D.V., Ushakov, A.N. (2010). O balanse tepla ot rabotu deformatsii na ploskosti sdviga pri rezanii edinichnym abrazivnym zernom [On the balance of heat from the working strain at the shear plane in cutting single abrasive grain]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Serii: Mashynobuduvannia mashynoznavstvo – Collection of scientific papers the Donetsk National Technical University. Series: Machine Engineering, issue 7 (166), pp. 65–75 (in Russian).*

8. Sizi, Y.A., Stalinskiy, D.V., Ushakov, A.N. (2009). O mhnovennoi temperature shlifovaniia [About instantaneous temperature grinding]. *Vestnyk natsionalnoho tekhnicheskoho unyversyteta KhPY – Herald of National Technical University KPI, no. 2, pp. 97–116 (in Russian).*

9. Sizi, Y.A., Stalinskiy, D.V., Ushakov, A.N. (2009). Temperatura samopodogreva pri shlifovanii [The temperature during grinding, the self]. *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovukh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, issue 1, no. 5 (37), pp. 24–37 (in Russian).*

10. Filimonov, L.N. (1979). *Vusokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).*

11. Yakimov, A.V. (1975). *Optimizatsiia protsessa shlifovaniia [Optimization of the grinding process]. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).*

12. Sekhon, G.S., Chenot, J.L. (1993). Numerical simulation of continuous chip formation during non-steady orthogonal cutting. *Engngr Computations, issue 10, pp. 31–48.*

Кальченко Віталій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Кальченко Виталий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kalchenko Vitalii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Automobile Transport and Mechanical Engineering Industry Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kalchenkovi@mail.ru

Кальченко Володимир Віталійович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Кальченко Владимир Витальевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kalchenko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific and pedagogical work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkalchenko@rambler.ru

Кужельний Ярослав Володимирович – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Кужельный Ярослав Владимирович – аспирант кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kuzhelnyi Yaroslav – PhD student of the Automobile Transport and Mechanical Engineering Industry Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: k.y.v.immortal@gmail.com

Володимир Венжега, Андрій Рудик, Геннадій Пасов

ОСОБЛИВОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ ВІДПОВІДНО ДО ЗАКОНУ УКРАЇНИ «ПРО УТИЛІЗАЦІЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»

Владимир Венжега, Андрей Рудик, Геннадий Пасов

ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ЗАКОНОМ УКРАИНЫ «ОБ УТИЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»

Volodymyr Venzhega, Andriy Rudyk, Hennadij Pasov

THE FEATURES OF THE PROCESS OF UTILIZATION OF CARS UNDER THE LAW OF UKRAINE "ON UTILIZATION OF VEHICLES"

Розглянуто утилізацію автомобілів як один із заходів збереження довкілля. Досліджено зарубіжний досвід переробки транспортних засобів на завершальному етапі життєвого циклу та шляхи його впровадження в Україні відповідно до прийнятого Верховною Радою України Закону «Про утилізацію транспортних засобів».

Ключові слова: *автомобілі, утилізація автомобілів, екологічні збитки від автотранспорту, Закон України «Про утилізацію транспортних засобів» від 4 липня 2013 року № 421-VII.*

Бібл.: 7.

Рассмотрена утилизация автомобилей как одна из мер сохранения окружающей среды. Исследован зарубежный опыт переработки транспортных средств на завершающем этапе жизненного цикла и пути его внедрения в Украине в соответствии с принятым Верховной Радой Украины Законом «Об утилизации транспортных средств».

Ключевые слова: *автомобили, утилизация автомобилей, экологический ущерб от автотранспорта, Закон Украины «Об утилизации транспортных средств» от 4 июля 2013 № 421-VII.*

Библ.: 7.

The article deals with the process of utilization of cars as one of the environmental protection measures. An international experience in recycling of vehicles at the final stage of their lifecycle and the ways of its implementation in Ukraine according to the law No.421-VII dated 04.07.13 "On utilization of vehicles" passed by Verkhovna Rada of Ukraine are investigated.

Key words: *car, utilization of cars, environmental damage caused by road transport, the Law of Ukraine "On utilization of vehicles" No. 421-VII dated 04.07.13.*

Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Транспорт є одним з найважливіших елементів матеріально-технічної бази вітчизняного виробництва і необхідною умовою функціонування сучасного індустріального суспільства. Автомобільний транспорт зіграв величезну роль у формуванні сучасного характеру розселення людей, у поширенні далекого туризму, в територіальній децентралізації промисловості і сфери обслуговування. Нині важко уявити собі будь-яку галузь народного господарства або вид діяльності населення без використання вантажного, легкового автомобіля і автобуса. Велика протяжність автомобільних доріг забезпечує можливість їх повсюдною експлуатації при значній провізній здатності. Маневреність, мобільність, високі швидкості доставки вантажів і перевезення пасажирів, комфорт поїздки та інші позитивні якості автомобільного транспорту забезпечили йому підвищені темпи зростання. Мережа автомобільних доріг загального користування включає 172,4 тис. км, з них з твердим покриттям – 164,1 тис. км (без урахування муніципальних, відомчих, внутрішньогосподарських доріг).

Поряд з перевагами, які забезпечує суспільству розвинута транспортна мережа, її прогрес так само супроводжується негативними наслідками – негативним впливом транспорту на навколишнє середовище. Автомобільний парк є практично основним джерелом забруднення навколишнього середовища, а також одним із джерел, що створюють високий рівень шуму і вібрацію. Екологічні збитки від експлуатації автотранспортних засобів обумовлені токсичними викидами. У багатьох великих містах на частку автотранспорту приходиться 70 і більше відсотків від загальної кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Будучи найбільшим споживачем природного палива, автотранспорт істотно впливає на збільшення концентрації в атмосфері вуглекислого газу і, тим самим, на процес глобального потепління клімату в світі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглядати автомобільний транспорт слід у комплексі як індустрію, пов'язану з виробництвом, обслуговуванням і ремонтом автомобілів, їх експлуатацією, виробництвом пально-мастильних матеріалів, з розвитком і експлуатацією дорожньо-транспортної мережі й ін.

З цієї позиції можна сформулювати такі негативні впливи автомобілів на навколишнє середовище.

Перша група пов'язана з виробництвом автомобілів:

- висока ресурсно-сировинна й енергетична ємність автомобільної промисловості;
- власне негативний вплив на навколишнє середовище автомобільної промисловості (ливарне виробництво, інструментально-механічне виробництво, виробництво шин і т. ін.).

Друга група зумовлена експлуатацією:

- витрата палива і повітря, виділення шкідливих вихлопних газів;
- викиди продуктів випробувань шин і гальм;
- шумове забруднення навколишнього середовища;
- матеріальні, людські втрати і втрати тваринного світу в результаті транспортних аварій.

Третя група пов'язана з відчуженням земель під транспортні магістралі, гаражі і стоянки:

- розвиток інфраструктури сервісного обслуговування автомобілів (автозаправні станції, станції сервісного обслуговування, мийки тощо);
- підтримка транспортних магістралей у робочому стані (використання солі для тавлення снігів).

Четверта група поєднує проблеми регенерації й утилізації шин, олії та інших технологічних рідин, самих відпрацьованих авто.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Забрудненню навколишнього середовища автомобільним транспортом присвячено багато праць науковців. Результати досліджень наводяться майже у всіх навчальних посібниках і підручниках з екології [2; 4; 6], але вони стосуються в основному аспектів, пов'язаних з виробництвом, експлуатацією автомобілів та відчуженням земель під транспортні магістралі, гаражі і стоянки. Водночас питання утилізації автомобілів в Україні досліджено недостатньо.

Відомі результати роботи [7], де автори спільно працювали над аналізом проблеми покращення екологічних характеристик автомобіля. В цій роботі ці результати доповнено.

Метою статті є дослідження стану утилізації автомобілів в Україні у світлі прийнятого Верховною Радою Закону України «Про утилізацію транспортних засобів» та визначення шляхів його вирішення, спираючись на досвід у цій галузі високорозвинених західних держав та відомих автовиробників.

Виклад основного матеріалу. Станом на 2015 рік в Україні нараховувалось 9066 тисяч автомобілів, середній вік яких становив 20 років (у Чернігівській області 152,7 тис. автомобілів).

У 2015 році продовжилися всі негативні тенденції 2014 року: окупація Криму Росією, розв'язана потім нею війна на сході Донбасу, економічна розруха, очікування повномасштабної війни населенням – все це призвело до подальшого спаду продажів нових автомобілів майже на 50 % у порівнянні з 2014 роком. І закономірний результат – черговий +1 рік до середнього віку автопарку. Прогнози маркетологів про обсяг ринку на 2016 рік в 45...50 тис. автомобілів прямо вказують, що за підсумками 2016 року середній вік автопарку України виросте ще на 1 рік.

Одним з яскравих показників кризи стало зростання частки імпортованих б/у автомобілів у структурі продажів: при падінні продажів нових автомобілів у 2 рази імпорт

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

б/у автомобілів виріс на 186 % (майже в 3 рази). Відповідно, частка ринку цих автомобілів зростає з 1,76 до 9,24 % всього за один рік. І, можливо, це пояснює той факт, що у Волинській, Закарпатській та Чернівецькій областях середній вік автопарку виріс за той же період одразу на 2 роки.

Нові реєстрації автомобілів становлять всього лише 0,6 % від наявного парку. Зняття автомобілів з обліку скоротилося з 0,61 % у 2012 році до 0,11 % від загальної чисельності автомобілів у 2015 році.

Обидва ці фактори – спад продажів нових автомобілів і зменшення темпів реновації парку – не зможуть змінитися на краще в найближчі кілька років. І це, ймовірно, призведе до того, що в найближчі 5...7 років середній вік автопарку щороку збільшуватиметься ще на 1 рік.

Немає достовірних даних, скільки і яких автомобілів було знищено або вкрадено проросійськими терористами за час антитерористичної операції на Донбасі. Але швидше за все, ці автомобілі здебільшого повинні бути молодші за середній показник по країні, особливо ті, які вкрадені і вивезені в Росію – в основному це будуть автомобілі не старше 5...7 років.

У 2016 році в Україні налічувалось 9122 тис. автомобілів, середній вік яких старше 21 року, з них 153,8 тис. у Чернігівській області.

У результаті тривалої експлуатації, а також фізичних і хімічних процесів, що відбуваються в автомобілі, його вузли і механізми поступово зношуються, технічний стан погіршується і, як наслідок, збільшується кількість шкідливих викидів в атмосферу. Крім екологічної загрози, автомобіль, особливо старий, є джерелом підвищеної небезпеки. Хімічні і фізичні процеси, що проходять у ньому, призводять до порушення регулювань і як наслідок – збільшення кількості неполадок. Так, щорічно в Україні до 20 % ДТП відбувається через несправний технічний стан транспортних засобів [3]. Це пояснюється зменшенням коефіцієнта безпеки автомобіля $K_{\text{ба}}$ з кожним наступним роком його експлуатації. Якщо для нового автомобіля $K_{\text{ба}} = 1,0$, то для п'ятирічного $K_{\text{ба}} = 0,7...0,8$, а десятирічного $K_{\text{ба}} = 0,4...0,5$. Наведені дані свідчать про те, що слід виводити з експлуатації автомобілі з тривалим терміном експлуатації.

У 1997 році Рада Європейського Союзу прийняла Директиву 97/С 337/02 «Транспортні засоби, що вийшли з експлуатації». Пізніше, у лютому 1999 року в Директиву були внесені певні поправки, згідно з якими автомобілі починаючи з 01.01.2005 р. повинні як мінімум на 85 % по масі утилізуватися через рециркулювання матеріалів, повторного використання окремих вузлів і деталей або спалюванням відходів з використанням теплової енергії, а починаючи з 01.01.2015р. – як мінімум на 95 % по масі [3].

Директива зобов'язує усіх автовиробників у Євросоюзі приймати на утилізацію автомобілі своїх марок, які відслужили експлуатаційний термін. Фірми зобов'язані брати на себе усі витрати з прийому, переробки і переплавки транспортних засобів.

Багато зарубіжних виробників вже здійснюють випереджувальні роботи з упровадженням у практику вимог Директиви. Значні результати у цьому плані отримали концерни BMW, VOLVO, FORD, MERCEDES-BENZ, NISSAN та інші. Досягнутий ними на сьогодні ступінь повторного використання матеріалів становить 85...90 %. Були розроблені стандарти підприємств з «Конструювання обладнання для рециркулювання», а також вказівки щодо розбирання й утилізації автомобілів після закінчення терміну їх служби.

Згідно з Директивою ЄС всі витрати, пов'язані з утилізацією старих автомобілів, лягають на автовиробників. Ті, у свою чергу, протестують, оскільки порахували, що переробка кожного старого автомобіля обійдеться приблизно в 300 євро, які у кінцевому підсумку перекладаються на споживача [3].

І все ж, незважаючи на певний супротив, концерни створюють центри з утилізації старих автомобілів. Так, у 1994 році BMW збудував об'єкт з утилізації під назвою RDZ (Recycling & Dismantling Centr) – Центр з переробки й утилізації. Концерн DAIMLER-BENZ AG у 1997 році відкрив Центр старих запчастин і автомобілів (MB ATC GmbH), ідея якого полягає в повторному застосуванні придатних до використання агрегатів і деталей та повною утилізацією частин, не придатних до роботи.

До речі, Центр MERCEDES-BENZ приймає на переробку лише свої автомобілі, натомість BMW, FIAT і RENAULT ще у 1994 році підписали договір про співробітництво. Кожна фірма бере на себе утилізацію старих автомобілів у своїй країні. По суті, це означає, що автомобілі марок FIAT і RENAULT приймуть на утилізацію в Німеччині, і навпаки, BMW – у Італії і Франції. Заводи з переробки працюють також в Австрії і Голландії; досвід подібного співробітництва є в США і Європі.

Таким чином, частину затрат на утилізацію старих автомобілів взяли на себе автозаводи. Однак основний вид покриття затрат – це продаж запасних частин, які були у вжитку, але ще придатні до подальшого використання, а також вторинна сировина.

Перед тим, як відкрити свій Центр, концерн DAIMLER-BENZ провів дослідження ринку і визначив, що 80 % власників автомобілів MERCEDES-BENZ готові купувати і використовувати старі запасні частини [7]. Тому старі деталі продаються тільки як такі, що були у вжитку. Продавець знає дату їх випуску, пробіг, стан. На відновлені номерні агрегати видається технічний паспорт.

У Російській Федерації дещо інший підхід до вирішення проблеми утилізації старих автомобілів. Зокрема, в Москві нараховується приблизно 6,0 млн автомобілів, з яких щорічно треба знищувати 100...130 тисяч. Загальнонісська система утилізації передбачає встановлення окремих тарифів за збір, транспортування, зберігання й утилізацію автомобільного металобрухту. Оплата подібних послуг передбачена і в інших країнах.

Донедавна в Україні на законодавчому рівні не було прийнято концепції утилізації автомобілів, і лише в 2013 році Верховна Рада України, усвідомлюючи важливість проблеми, прийняла Закон «Про утилізацію транспортних засобів» [5]. Цей Закон визначає правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов'язаної з утилізацією транспортних засобів на території України з метою забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, життя та здоров'я громадян. Зупинимось дещо детальніше на найбільш важливих положеннях цього Закону для його найшвидшого впровадження. В першій статті наведені терміни, що вживаються в такому значенні:

1) мережа утилізації транспортних засобів – сукупність пунктів прийому та розбирання транспортних засобів, організованих з метою утилізації транспортних засобів суб'єктом господарювання;

2) переробка – вторинна обробка у виробничому процесі відпрацьованих матеріалів з відновленням їх попередніх властивостей або для використання в інших цілях;

3) повторне використання – послідовність виробничих операцій, завдяки якій компоненти з транспортного засобу з відпрацьованим ресурсом після відповідної переробки можуть бути використані для того самого призначення;

4) пункт прийому транспортних засобів (пункт прийому) – пункт, організований суб'єктом господарювання для приймання транспортних засобів, що утилізуються, від їх власників, зберігання та подальшої передачі таких транспортних засобів до пунктів розбирання;

5) пункт розбирання транспортних засобів (пункт розбирання) – пункт, організований суб'єктом господарювання, де здійснюється розбирання транспортних засобів, що утилізуються, а також операції з поводження з відходами, що утворилися у процесі розбирання;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

б) розбирання транспортних засобів – виконання операцій на пункті розбирання транспортних засобів щодо:

– усунення з транспортних засобів небезпечних елементів і речовин, у тому числі рідин та газів;

– зняття з транспортних засобів елементів обладнання та частин, придатних до повторного використання;

– сортування складових частин та елементів розібраного транспортного засобу для повторного використання, переробки та утилізації;

7) транспортні засоби – колісні транспортні засоби, які класифікуються за кодами товарних позицій 8702, 8703, 8704, 8705 згідно з УКТ ЗЕД;

8) утилізація транспортних засобів – комплекс робіт з приймання, зберігання, перевезення, демонтажу та розбирання транспортних засобів на складові частини та елементи і сортування з метою подальшої їх утилізації відповідно до вимог законодавства про відходи.

Стаття 2 цього Закону визначає суб'єктів господарювання, що мають право здійснювати діяльність з утилізації транспортних засобів, а стаття 3 та 4 – вимоги до пунктів прийому та розбирання транспортних засобів.

Законом встановлені технологічні процеси, які необхідно застосовувати при поводженні зі складовими частинами та елементами, що утворюються у процесі утилізації знятих з експлуатації транспортних засобів:

1) демонтаж акумуляторних батарей і ємностей із зрідженим газом (за наявності);

2) видалення або нейтралізацію вибухонебезпечних компонентів (зокрема, подушок безпеки);

3) окреме зливання та зберігання рідин, у тому числі палива, моторного і трансмісійного мастила, робочих рідин систем гідроприводу, охолоджуючих рідин, гальмівних рідин, рідин із системи кондиціонування та інших рідин, що містяться у транспортних засобах, якщо це не перешкоджатиме подальшому відновленню деталей, вузлів і агрегатів з використанням стаціонарних або мобільних (модульних) установок для осушення транспортних засобів, заснованих на пневматичному принципі, з окремим збиранням рідин;

4) демонтаж усіх компонентів, що містять ртуть;

5) демонтаж усіх компонентів, що містять екологічно небезпечні матеріали і мають відповідне маркування, або зазначених у керівництві з демонтажу, що підлягають демонтажу на стадії підготовки до утилізації;

6) демонтаж каталітичних нейтралізаторів і сажових фільтрів;

7) демонтаж металевих деталей, що містять мідь, алюміній чи магній, якщо такі метали не можуть бути відокремлені на стадії дроблення матеріалів;

8) демонтаж покришок, великих вузлів і деталей з пластмаси (бамперів, комбінацій приладів, ємностей для рідин), якщо такі матеріали не можуть бути відокремлені на стадії дроблення, із забезпеченням спрощення процедури їх подальшої переробки;

9) сортування відходів за видами, їх накопичення і передачу на спеціалізовані підприємства, що здійснюють вторинну переробку або захоронення (знешкодження);

10) зберігання твердих відходів на відкритому майданчику або у виробничих приміщеннях з асфальтовим чи бетонним покриттям;

11) складування акумуляторів і мастильних фільтрів в окремих спеціальних контейнерах.

Висновки і пропозиції. Вирішення питання про утилізацію транспортних засобів в Україні перебуває на стадії становлення. В державі є цільова програма утилізації автомобілів на основі прийнятого Верховною Радою Закону України «Про утилізацію транспортних засобів». Але Закон, який би мав позбавити Україну реліктів автопрому,

«пробуксовує». Вивчення досвіду переробки автомобілів країнами з високим рівнем автомобілізації, автомобільними концернами та перенесення його з певними корективами на вітчизняні терени, відповідно до законодавства, безперечно, сприятиме покращенню екологічної ситуації в Україні.

Список використаних джерел

1. Кальченко В. І. Тенденції і перспективи розвитку автомобілів / В. І. Кальченко, І. М. Хоменко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 4 (53). – С. 35–43.
2. Канило П. М. Автомобиль и окружающая среда / П. М. Канило, И. С. Бей, А. И. Ровенский. – Х. : Прапор, 2000. – 304 с.
3. Кишун В. А. Утилізація автомобілів / В. А. Кишун // Вісник НУ водного господарства та природокористування : зб. наук. пр. – Рівне, 2008. – Вип. 1. – С. 297–302.
4. Основи екології: навколишнє середовище і техногенний вплив : підручник / Я. П. Скоробагатий, В. В. Ощаківський, В. О. Василечко, С. Л. Кусковець. – Львів : Новий світ-2000, 2008. – 221 с.
5. Про утилізацію транспортних засобів : Закон України із внесеними змінами від 4 липня 2013 р № 421-VII.
6. Філіппов А. З. Промислова екологія (транспорт) : навч. посіб. / А. З. Філіппов. – К. : Вища школа, 1995. – 84 с.
7. Шляхи покращення економічних і екологічних характеристик автомобілів / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, В. І. Венжега, А. В. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2010. – Вип. 45. – С. 35–38.

References

1. Kalchenko, V.I., Khomenko, I.M. (2011). Tendentsii i perspektyvy rozvytku avtomobiliv [Trends and prospects of cars]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 4 (53), pp. 35–43 (in Ukrainian).
2. Kanilo, P.M., Bei, I.S., Rovenskii, A.I. (2000). *Avtomobil i okruzhaiushchaia sereda [The car and the environment]*. Kharkov: Prapor (in Russian).
3. Kyshchun, V.A. (2008). Utylizatsiia avtomobiliv [Disposal of vehicles]. *Visnyk NU vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia – Journal of National University of Water and Environmental Engineerin*, issue 1, pp. 297–302 (in Ukrainian).
4. Skorobahatyi, Ya.P., Oshchakovskiy, V.V., Vasylechko, V.O., Kuskovets, S.L. (2008). *Osnovy ekolohii: navkolyshnie seredovyshche i tekhnohennyi vplyv [Fundamentals of ecology, environment and technogenic impact]*. Lviv: Novyi svit-2000 (in Ukrainian).
5. *Pro utylizatsiiu transportnykh zasobiv: Zakon Ukrainy iz vnesenymy zminamy vid 4 lypnia 2013 r. № 421-VII [On disposal of vehicles: Law on July 4, 2013 № 421-VII]*.
6. Filippov, A.Z. (1995). *Promyslova ekolohiia (transport) [Industrial ecology (transport)]*. Kyiv: Vyshecha shkola (in Ukrainian).
7. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Venzhega, V.I., Rudyk, A.V. (2010). Shliakhy pokrashchennia ekonomichnykh i ekolohichnykh kharakterystyk avtomobiliv [Ways to improve economic and environmental performance of vehicles]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, issue 45, pp. 35–38 (in Ukrainian).

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).

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

Venzhega Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Integrated Machine Building and Automobiles Technologies, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: venzhegavi@mail.ru

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

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 Andriy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Integrated Machine Building and Automobiles Technologies, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: andrei.rudik@gmail.com

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

Pasov Hennadij – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Integrated Machine Building and Automobiles Technologies, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: genapasov@gmail.com

УДК 621.9

*Олександр Космач, Сергій Сапон, Вячеслав Безручко, Дмитро Федориненко***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВОДА
ВЕРСТАТІВ НА ДОПОМІЖНИХ ПЕРЕХОДАХ***Александр Космач, Сергей Сапон, Вячеслав Безручко, Дмитрий Федориненко***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВОДА
СТАНКОВ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ***Alexandr Kosmach, Serhii Sapon, Viacheslav Bezruchko, Dmytro Fedorynenko***EXPERIMENTAL EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF MACHINE
TOOL DRIVE ON AUXILIARY TRANSITIONS**

Проведено експериментальні дослідження енергетичних процесів приводу головного руху прецизійного токарного верстата зі шпинделем на гідростатичних опорах у режимі допоміжних переходів, що дозволило встановити найбільш впливові фактори та їх ступінь впливу на загальне енергоспоживання верстата. Отримані результати досліджень дозволяють виявити шляхи мінімізації енергоспоживання приводом головного руху верстата та можуть бути використані під час розроблення автоматизованих систем керування верстатом.

Ключові слова: верстат, двигун, енергія, потужність, споживання, обертання, привод.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 5.

Проведены экспериментальные исследования энергетических процессов привода главного движения прецизионного токарного станка со шпинделем на гидростатических опорах в режиме вспомогательных переходов, что позволило установить наиболее влияющие факторы и их степень влияния на общее энергопотребление станка. Полученные результаты исследований позволяют выявить пути минимизации энергопотребления приводом главного движения станка и могут быть использованы при разработке автоматизированных систем управления станком.

Ключевые слова: станок, двигатель, энергия, мощность, потребление, вращение, привод.

Рис.: 5. Табл.: 1. Библ.: 5.

The experimental researches of energy processes for main motion drive of the precision lathe with the spindle on hydrostatic bearings on auxiliary transition were performed. It is has allowed to establish the most influencing factors and their degree of influence on the overall energy consumption the machine tool. The results of studies that have been received, allow to identify ways of energy consumption minimization by main movement drive of the machine tool and can be used in the development of automated control systems machine tool.

Key words: machine tool, energy consumption, power, rotation, drive, auxiliary transition.

Fig.: 5. Tabl.: 1. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. Проблема ефективного використання різних видів енергії та енергоносіїв для виробництва є актуальною для світової економіки, враховуючи сучасні економічні, геополітичні процеси та стан екології. Особливої актуальності ця проблема набуває в індустріальній галузі, яка потребує використання значної кількості різних видів енергії, зокрема електричної. Особливу складність цієї проблеми для більшості виробничих галузей України можна пов'язати з використанням, у першу чергу, застарілих енергомістких технологій та обладнання, недостатнім рівнем автоматизації технологічних процесів виробництва, низькою гнучкістю виробництва, а також низьким рівнем впровадження енергетичного менеджменту. Зазначені вище обставини призводять до істотного зростання собівартості продукції та зниження її конкурентоспроможності перш за все на зовнішніх ринках збуту. Крім того, зростає негативний вплив на навколишнє середовище, а також додаткове високе споживання викопних енергоресурсів, які в основному використовуються для виробництва електричної енергії в Україні.

Застосування в технологічних процесах механічної обробки та переробки сировини верстатів, а також рухомих механізмів та машин з електричними приводами вимагає пошуку шляхів підвищення ефективності їх функціонування, яка характеризується відношенням спожитої електричної енергії до корисної механічної роботи. Тому зниження енергоспоживання приводів верстатів, машин та механізмів є важливою та актуальною науковою проблемою, вирішення якої має надважливу практичну значущість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання електричних стандартів та вимог до способів і засобів транспортування виготовленої продукції посприяло достатньо низькому коливанню енергетичних витрат виробництва в цьому секторі, які на сьо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

годні коливаються в межах 1...2 порядків. При цьому споживана ефективна потужність обладнання індустріального сектору знаходиться в межах 5...50 кВт [1]. Слід зазначити, що властивості різних видів матеріалів, зокрема твердість, міцність, відхилення від форми, а також шорсткість поверхонь можуть коливатися в межах 10 порядків. У зв'язку з цим важливою складовою сучасних виробничих технологій є не тільки мінімізація часових витрат на виготовлення продукції, але й мінімізація загальних енергетичних витрат, які пов'язані з усіма етапами переробки сировини до стадії кінцевого виробу, включаючи транспортування та зберігання.

Аналіз основних джерел споживання енергії та шляхи підвищення енергоефективності обробних верстатів докладно розглянуто в [2]. Зазначено, що важливою характеристикою споживання електроенергії металообробного обладнання є його загальний коефіцієнт корисної дії. Так, наприклад, для верстатів нормальної точності за умови стабільного налагодженого процесу різання лише близько 20 % спожитої верстатом електричної енергії витрачається на механічну обробку матеріалу, що є критичним з погляду економії енергоресурсів.

Згідно з результатами [3] значний вплив на споживання електроенергії у процесі механічного оброблення чинить привод головного руху верстата (у межах 30 %) і допоміжних верстатних вузлів (до 60 % від загального споживання електроенергії). Також зазначено, що на верстатах з числовим програмним керуванням споживання електричної енергії формують вузлами, зокрема шпindelним, разом із витратою енергії для мащення механізмів й охолодження робочих рідин варіюється у діапазоні від 50 до 70 % залежно від умов обробки. Це викликано значними втратами енергії на передачу механічного руху між двигуном та робочим органом верстата.

Серед закордонних наукових центрів і виробників на сьогодні для підвищення енергоефективності та продуктивності верстатів превалює тенденція використання малов'язкого мащення гідравлічних опор шпindelів малої довжини. Наприклад, фірмами Fischer та Ibag North America (США) створені та успішно випробувані фрезерні головки на потужність до 4 кВт з частотою обертання до 30 000 хв⁻¹, шпindel яких встановлений на гідростатичні опори з водяним мащенням. Фахівцями Cranfield Precision (Великобританія), Moore Tools (Швейцарія) розроблена серія високошвидкісних шпindelних вузлів з водяним мащенням опор, частотою обертання до 100 000 хв⁻¹ і потужністю на шпindelі до 2 кВт. Слід зазначити, що існуючі технічні рішення використовуються виключно для малонавантажених шпindelів, які призначені для надання головного руху різання інструменту. Це суттєво обмежує технологічні можливості верстатів.

Існування суперечності між одночасним забезпеченням показників точності, продуктивності та енергоефективності верстатів відзначається в роботі [1]. Подолання зазначеної суперечності у майбутньому дозволить створювати верстати нового покоління з на порядок вищими показниками призначення та ефективності експлуатації.

Розглядаючи загальну структуру верстата можна відокремити деякі узагальнені шляхи зменшення витрат електроенергії під час оброблення матеріалів. При цьому дуже важливою частиною дослідження енергоефективності металорізальних верстатів є виявлення та аналіз складових процесів, які призводять до споживання електричної енергії верстатом під час різання матеріалів, а також у режимі допоміжних переходів, які необхідні для виконання технологічних переходів процесу різання.

У зв'язку з цим дослідження енергоефективності металорізальних верстатів на допоміжних переходах є важливим і актуальним напрямком наукових досліджень [4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.

У процесі дослідження енергоефективності обладнання найчастіше аналізуються енергетичні витрати, які виникають безпосередньо під час виконання технологічних переходів. Проте під час аналізу енергетичного споживання верстатів слід також вра-

ховувати допоміжні та холості ходи, які невід'ємно супроводжують процес різання та за тривалістю можуть суттєво перевищувати основний час обробки. Тому врахування зазначених обставин та визначення факторів, які впливають на енергетичне споживання верстата, зокрема привода верстата, на допоміжних переходах та їх подальший аналіз є достатньо актуальним завданням під час розроблення концепції підвищення енергоефективності більшості промислового обладнання.

Мета статті. Метою роботи є експериментальне визначення факторів, які впливають на енергетичне споживання привода головного руху токарного прецизійного верстата при допоміжних переходах, а також визначення діапазонів частот обертання привода верстата зі зменшеним та підвищеним енергетичним споживанням.

Виклад основного матеріалу. Дослідження енергоспоживання верстата на допоміжних переходах входить до узагальненої методики аналізу енергоефективності металорізального верстата. Вона включає в себе структурний аналіз досліджуваної модифікації верстата та виявлення його основних енергетичних потоків. Крім цього, кожний споживач електроенергії на верстаті повинен бути оцінений у режимі холостого ходу, а також при безпосередньому виконанні корисної роботи на верстаті.

Ключовим етапом методики дослідження є експериментальне визначення споживаної потужності за певний проміжок часу, а також виявлення окремих енергетичних потоків верстата W_n та його загальної споживаної потужності W_b на допоміжних переходах та під час виконання технологічних переходів обробки зразків-виробів при варіюванні режимами різання згідно з попередньо розробленим планом експерименту. Це дозволяє оцінити загальну енергоефективність верстата, а також окремих вузлів та систем, засобів передачі та перетворення енергії (приводи, насоси, гідравлічні чи електричні пристрої тощо).

Окремим етапом розробленої методики дослідження є вивчення факторів, які впливають на споживання електроенергії верстатом під час роботи на допоміжних переходах. Крім цього, визначення закономірностей зміни основних факторів, які впливають, дозволить визначити режими обробки матеріалів з найменшою та найбільшою енергоефективністю. Визначення вузлів та систем верстата з низькою енергоефективністю дозволяє в подальшому провести їх економічно обґрунтовану заміну або модернізацію.

У процесі дослідження енергоефективності обробних верстатів виникає необхідність у виявленні типових основних вузлів верстатів, що споживають енергію: двигуни, передавальні механізми, системи керування та перетворювачі енергії разом з виконавчими органами. Це дозволить розширити основні напрямки вирішення завдань, які пов'язані з підвищенням енергоефективності верстатів, а також більш широко оцінити вплив окремих факторів на енергоефективність промислового обладнання [5].

До одного з типових представників обробних верстатів, що містить велику кількість двигунів постійного та змінного струму різної потужності з незалежними системами їх керування, можна віднести прецизійний токарний верстат моделі УТ16А з гідростатичними опорами у шпindelному вузлі. Електрична схема вимірювання електричного споживання привода токарного верстата УТ16А та його загальний вигляд представлено на рис. 1.

Для визначення споживаної потужності верстата на допоміжних переходах проводилася реєстрація енергетичного споживання двигуна постійного струму головного привода верстата в режимі реального часу. Визначення електричної потужності двигуна постійного струму проводилося з використанням двох прецизійних True RMS мультиметрів за диференційною схемою підключення. Один з мультиметрів використовувався для визначення напруги в обмотках збудження, а інший використовувався для визначення величини сили струму шляхом паралельного встановлення через лабораторний шунт та вимірювання в режимі постійної напруги. Величина похибки вимірювання мультиметрів становила в межах 0,08 %, а частота оновлення результатів становила

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5 Гц, що є достатнім для реєстрації часових проміжків близько 30 с. Опір шунта був вибраний з величини максимально можливого значення струму, який виникає при максимальному завантаженні двигуна постійного струму. Опір шунта був мінімальним та становив 5 мОм, номінальне заниження напруги – 75 мВ, діапазон вимірювання – 15...30 А, клас точності – 0,5.

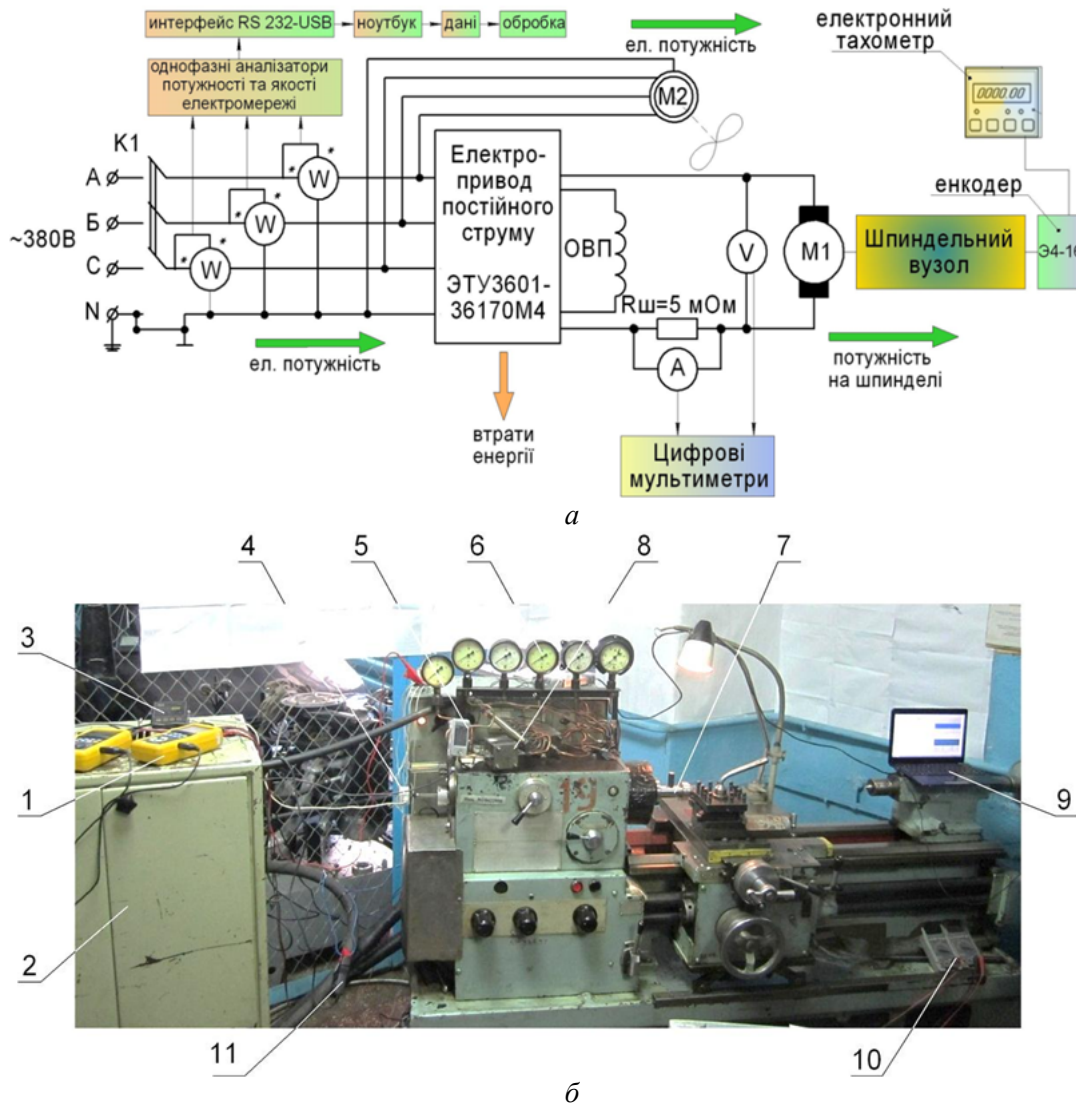


Рис. 1. Електрична схема вимірювання потужності, що споживає привод головного руху (а) та зовнішній вигляд верстата УТ16А (б): 1 – однофазні аналізатори якості електричної мережі; 2 – гідростанція системи живлення гідростатичних опор шпинделя з регуляторами тиску та потоку мастила; 3 – електронний тахометр; 4 – енкодер; 5 – цифровий температурний перетворювач; 6 – манометри для вимірювання тиску в опорах ковзання; 7 – оправка зі змінним дисбалансом; 8 – подільник потоку рідини; 9 – ноутбук; 10 – цифрові мультиметри; 11 – струмові кліщі

Отримані результати вимірювань через інтерфейс даних RS 232 передавалися на персональний комп'ютер. Спеціалізоване програмне забезпечення, яке використовується разом з мультиметрами на базі операційної системи Windows дозволяло проводити реєстрацію, зберігання, перетворення вхідних сигналів з подальшим виведенням на дисплей ПК у вигляді часових графічних залежностей у режимі реального часу.

У процесі дослідження енергоспоживання привода головного руху верстата в режимі холостого ходу враховувався вплив трьох технологічних факторів: n – частота обертання шпинделя верстата, $D_{ст}$ – статичний дисбаланс оброблюваної заготовки та (або) технологічного оснащення, яке закріплюється в (на) шпинделі, p – величина тиску в

операх ковзання. Слід відзначити, що ці фактори проявляються також й у процесі оброблення матеріалів різанням на верстатах. Частота обертання шпинделя верстата реєструвалася з точністю $\pm 0,05 \text{ хв}^{-1}$ за допомогою цифрового енкодера 1, моделі Э4-16, з'єднаного через пружину 3 та стакан 4 з вільним кінцем шпинделя 5 (рис. 2).

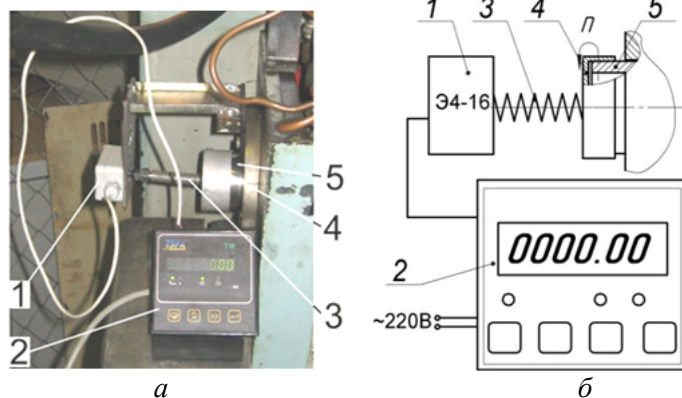


Рис. 2. Загальний вигляд (а) та принципова схема визначення частоти обертання шпинделя (б):
1 – енкодер; 2 – електронний тахометр; 3 – пружина; 4 – стакан; 5 – шпиндель

Для дослідження впливу статичного дисбалансу елементів технологічної системи на енергоспоживання привода головного руху верстата в різцевому отворі прецизійної оправки 7 (рис. 1) закріплювали змінні вантажі (рис. 3). Залежно від конструктивних характеристик змінного вантажу статичний дисбаланс $D_{СТ}$ визначали:

$$D_{СТ} = m \cdot e,$$

де m – маса вантажу, кг;

e – ексцентриситет центра мас (рис. 3, б), мм.

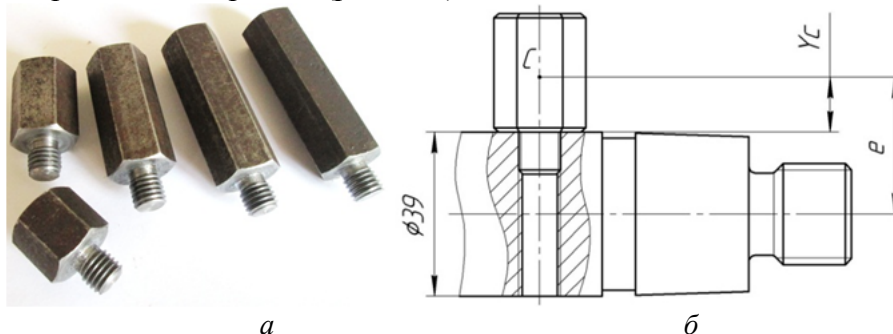


Рис. 3. Загальний вигляд змінних вантажів (а) та схема до розрахунку величини статичного дисбалансу (б)

Складовими доданками ексцентриситету e є радіус оправки R ($R=19,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) та координати центра мас вантажу Y_C , які визначали за допомогою САД – системи КОМПАС-3D.

Тиск робочої рідини в карманах ГСО шпинделя встановлювали за допомогою регулятора потоку дросельного типу, а контролювали манометрами 6 (рис. 1) з точністю 0,1 МПа.

При описанні експериментальної області у випадках, коли відсутня апріорна інформація про поліноміальну модель об'єкта дослідження, з метою скорочення кількості експериментів доцільно застосовувати композиційні плани. В цій роботі застосовано ортогональне композиційне планування 2-го порядку. При цьому були виділені такі етапи планування експериментальних досліджень:

- збір та аналіз апріорної інформації про споживання електроенергії верстата в режимі допоміжних ходів;
- обґрунтування критерію ефективності досліджуваного процесу електричного споживання джерел верстата в режимі допоміжних ходів;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- встановлення рівнів та інтервалів варіювання досліджуваних факторів (таблиця);
- визначення методів контролю параметрів (на основі вибраних метрологічних засобів вимірювання електричних величин);
- вибір типу математичної моделі (лінійно-квадратична модель з попарною взаємодією факторів);
- розроблення методики і плану (послідовність проведення) незалежних експериментів;
- розроблення схеми і методики випробування;
- визначення методу аналізу експериментальних даних;
- проведення експерименту та перевірка статистичних передумов для отримання даних;
- оброблення результатів отримання математичної моделі та її інтерпретація;
- заключні висновки за результатами оброблення даних.

Таблиця

Рівні та інтервали варіювання факторів

Інтервал варіювання і рівні факторів	Натуральні значення факторів		
	$n, \text{хв}^{-1}$	$D_{ст}, 10^{-6} \text{ г} \cdot \text{мм}$	$p, \text{МПа}$
Верхня «зіркова точка» (+1,215)	2720	6972	4,2
Верхній рівень (+1)	2500	6524	4,0
Нульовий рівень (0)	1500	4360	3,0
Нижній рівень (-1)	500	2219	2,0
Нижня «зіркова точка» (-1,215)	280	1748	1,8
Інтервал варіювання факторів	1000	2150	1,0

За встановленим планом експерименту проводилося триразове повторення експерименту в кожній точці плану для забезпечення збіжності вимірювань споживаної потужності W_{xx} у режимі холостого ходу за прийнятий часовий проміжок 40 с. Крім того, зазначені експериментальні дослідження додатково повторювалися в інший проміжок часу з метою підвищення достовірності результатів. Часовий проміжок реєстрації електричного споживання верстата був прийнятий за результатами розрахунку допоміжних дій робітника під час оброблення заготовок типу диск діаметром 80 мм та довжиною 20 мм в умовах дрібносерійного виробництва. Допоміжний час складався з підведення різального інструменту до оброблюваної поверхні заготовки, торкання різальної вершини різця до оброблюваної поверхні заготовки та встановлення необхідної величини глибини різання.

Спожита електроенергія привода головного руху верстата визначалася за залежністю:

$$E = W \cdot t,$$

де W – потужність електричних споживачів, кВт;

t – тривалість роботи привода головного руху, год (0,0111 год або 40 с з урахуванням прийнятих норм на налагодження верстата на заданий розмір обробки).

У результаті проведення експериментальних досліджень отримана закономірність електричного споживання привода верстата, яка описується функцією відгуку виду:

$$E_{xx}(n, D_{cm}, p) = 0,018055 - 4 \cdot n \cdot p \cdot 10^{-6} + 1,23 \cdot n^2 \cdot 10^{-7} - 0,005072 \cdot D_{cm} + 3 \cdot n \cdot D_{cm} \cdot 10^{-6}.$$

Слід зауважити, що для опису електричного споживання головного привода верстата може бути використана і миттєва потужність двигуна з урахуванням прийнятих однакових часових проміжків реєстрації експериментів.

Ступінь впливу окремої та попарної взаємодії прийнятих факторів представлено за допомогою карти Парето. На рис. 4 представлена карта Парето для відгуку функції електричного споживання привода головного руху в режимі допоміжних переходів. Вертикальна тонка лінія розділяє фактори та їх взаємодії, які мають значущість або не є значущими. При цьому якщо фактор перетинає вертикальну лінію, це означає, що фактор є значущим. Додатний знак для досліджуваних факторів означає прямий вплив на

електричне споживання, тобто що у разі зменшення діючих значень факторів вихідне значення електричного споживання приводу верстата також зменшується.

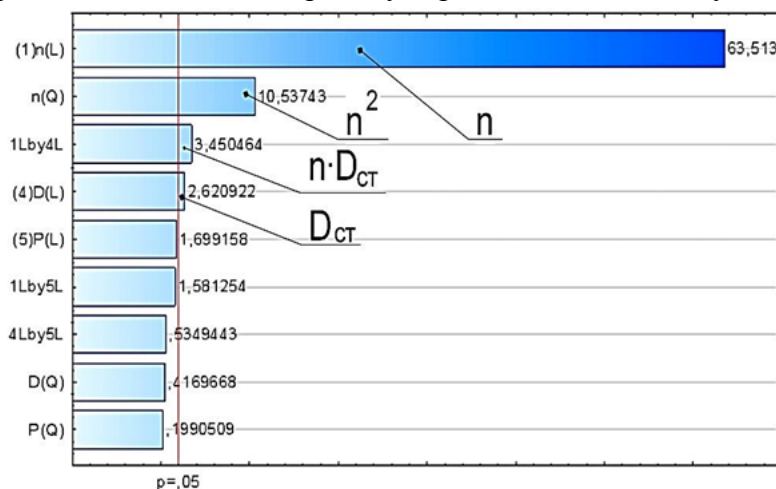


Рис. 4. Карта Парето впливу факторів на споживання електричної енергії приводу головного руху верстата УТ16А в режимі допоміжних переходів

З рис. 4 видно, що найбільший вплив на електричне споживання приводу головного руху верстата мають: частота обертання приводу головного руху; квадратична частота обертання приводу; добуток частоти обертання на дисбаланс, тобто імпульс сили від неврівноваженості обертових елементів технологічної системи.

Результати досліджень показують, що вплив величини тиску в опорах ковзання шпиндельного вузла на електричне споживання приводу головного руху при допоміжних переходах практично відсутній. Слід зазначити, що зростання тиску в карманах опор шпиндельного вузла призводить до збільшення його загальної жорсткості, проте як показують результати досліджень, вплив цього фактора на характер електричного споживання приводу головного руху практично відсутній або мінімальний для прийнятих меж дослідження факторів.

На рис. 5 наведено закономірність зміни споживаної електричної енергії приводу головного руху прецизійного токарного верстата залежно від частоти обертання n та дисбалансу заготовки D_{cm} під час виконання допоміжних переходів.

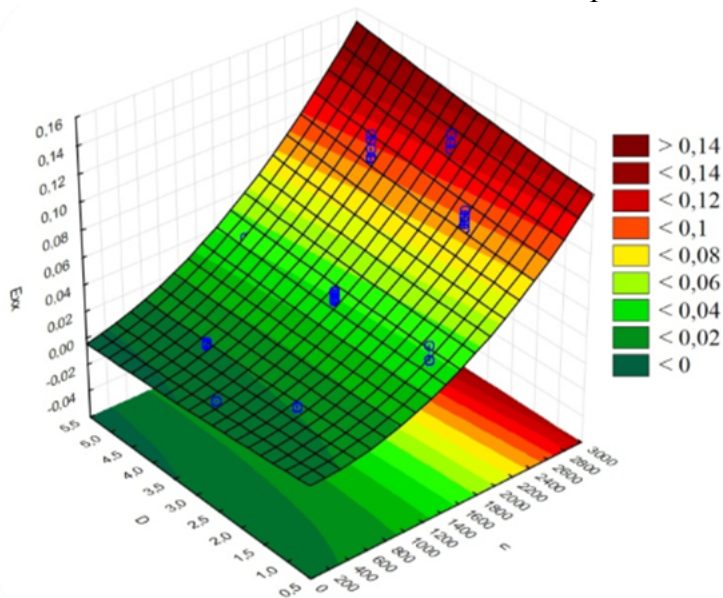


Рис. 5. Закономірність зміни споживаної електричної енергії приводу головного руху верстата залежно від частоти його обертання n та дисбалансу заготовки D_{cm} під час виконання допоміжних переходів

Вплив дисбалансу обертових елементів технологічної системи на підвищене енергетичне споживання може бути пов'язаний з появою додаткових динамічних та відцентрових сил, які сприяють додатковим механічним втратам в спряжених поверхнях рухомих елементів двигуна постійного струму, зокрема підшипникових вузлах.

Слід зауважити, що при подальшому підвищенні частоти обертання приводу головного руху характер впливу дисбалансу та величини тиску в опорах ковзання на енергоспоживання, безумовно, буде зростати. Особливо ця обставина буде актуальна для шпindelних вузлів, які працюють при великих швидкостях обертання.

У зв'язку з цим одним зі шляхів зменшення додаткового електричного споживання приводу головного руху на допоміжних ходах може бути реалізоване за рахунок встановлення на верстат збалансованих заготовок, які можуть бути відсортовані за групами або попередньо оброблені для мінімізації їх дисбалансу.

Висновки і пропозиції. Проведені експериментальні дослідження електричного споживання приводу головного руху в режимі допоміжних переходів дозволили встановити основні фактори та їх вплив на загальне енергоспоживання. Статистичне оброблення отриманих результатів досліджень дозволила класифікувати результати досліджень за різними групами, яким відповідають різне енергетичне споживання приводу головного руху в режимі холостого ходу верстата. Основним фактором, який впливає на найбільше споживання енергії верстатом у режимі допоміжних переходів, є частота обертання приводу головного руху, що характеризується квадратичною зростаючою залежністю. При цьому найменший вплив на споживання електричної енергії приводу головного руху верстата має тиск у карманах гідравлічних опор ковзання шпindelного вузла.

У разі збільшення частоти обертання шпindelного вузла верстата відбувається додатковий вплив дисбалансу обертових елементів технологічної системи на результуюче споживання електричної енергії приводу головного руху верстата зі шпindelом на гідростатичних опорах. З урахуванням сучасних концепцій розробки високооборотних шпindelних вузлів актуальним напрямком зменшення додаткового електричного споживання приводу головного руху верстата на допоміжних переходах є встановлення на верстат конструктивно зрівноважених заготовок, які можуть бути відсортовані за групами за мінімальним дисбалансом або попередньо оброблені для мінімізації його величини. При цьому для зменшення електричного споживання приводу головного руху верстата можуть бути використані алгоритми мінімізації частоти обертання шпindelа за відсутності процесів різання матеріалів.

Список використаних джерел

1. *Gutowski, T.* Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes / T. Gutowski, J. Dahmus, A. Thiriez // 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, May 31st. – June 2nd, 2006. – Pp. 1–5.
2. *Draganescu, F.* Models of machine tool efficiency and specific consumed energy / F. Draganescu, M. Gheorghe, C.V. Doicin // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 141. – Pp. 9–15.
3. *Aspects of Energy Efficiency in Machine Tools* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.heidenhain.us/enews/stories_1011/MTmain.php.
4. *Експериментальне оцінювання енергоефективності процесів механічного оброблення на верстатах* / Д. Федориненко, О. Космач, В. Безручко, С. Сапон // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). – С. 16–22.
5. *Федориненко Д. Ю.* Інформаційно-вимірjuвальний комплекс визначення електричного споживання асинхронних двигунів верстатів / Д. Ю. Федориненко, О. П. Космач // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 2 (78). – С. 70–75.

References

1. Gutowski, T., Dahmus, J., Thiriez, A. (2006). *Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes*. 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, May 31st. June 2nd, pp. 1–5.
2. Draganescu, F., Gheorghe, M., Doicin, C.V. (2003). *Models of machine tool efficiency and specific consumed energy*. Journal of Materials Processing Technology, vol. 141, pp. 9–15.
3. *Aspects of Energy Efficiency in Machine Tools*. Retrieved from http://www.heidenhain.us/enews/stories_1011/MTmain.php.
4. Fedorynenko, D.Yu. Bezruchko, V.M., Kosmach, O.P., Sapon, S.P. (2016). Eksperymental'ne otsynuyannya enerhoeffektyvnosti protsesiv mekhanichnoho obroblennya na verstatakh [Experimental evaluation of energy processes of CNC machining]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (4), pp. 16–22 (in Ukrainian).
5. Fedorynenko, D.Yu., Kosmach, O.P. (2015). Informatsiino-vymiryuvalniy kompleks vyznachennia elektrychnoho spozhyvannia asynkronnykh dvyhuniv verstativ [Information and measuring complex for determination of power consumption of machine tools asynchronous motors]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2(78), pp. 70–75 (in Ukrainian).

Космач Олександр Павлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Космач Александр Павлович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kosmach Alexandr – PhD in Technical Sciences, Senior lecturer of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: alexkos86@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3380-1405>

Сапон Сергій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Сапон Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Sapon Serhii – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: s.sapon@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1082-6431>

Безручко Вячеслав Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних систем і мереж, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Безручко Вячеслав Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем и машин, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bezruchko Viacheslav – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Electrical Systems and Machines Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: slavajm@meta.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3705-8543>

Федориненко Дмитро Юрійович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Федориненко Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Fedorynenko Dmytro – Doctor of Technical Sciences, Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: fdy1974@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3884-2698>

Наталія Сіра

МОДУЛЬНЕ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ПРОЦЕСІВ ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ЦИЛІНДРИЧНОГО ВАЛА Й АБРАЗИВНОГО КРУГА

Наталія Серая

МОДУЛЬНОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ, ПРОЦЕССА СНЯТИЯ ПРИПУСКА И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВАЛА И АБРАЗИВНОГО КРУГА

Nataliia Sira

MODULAR 3D-MODELING OF TOOLS, PROCESSES OF STOCK REMOVAL AND SHAPING IN GRINDING WITH CROSSED AXES OF CYLINDRICAL SHAFT AND ABRASIVE WHEEL

Розроблено модульне тривимірне геометричне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення оброблюваної поверхні при глибинному однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями абразивного круга та циліндричного вала на базі уніфікованих модулів інструмента, орієнтації та формоутворення. Шліфування циліндричного вала по всій довжині здійснюється за один установ абразивним кругом зі схрещеними осями його і деталі, де у процесі оброблення чорновий припуск знімається торцем інструмента, а чистове шліфування та калібрування виконується широкою ділянкою його периферії. При цьому шліфувальний круг повертається на кут, який забезпечує рівномірне зняття припуску, а вісь його повороту розташовується на заданій відстані від торця, що забезпечує роботу широкої ділянки периферії інструмента.

***Ключові слова:** модульне тривимірне геометричне моделювання, циліндричний вал, формоутворення, зняття припуску, абразивний круг, схрещені осі.*

Рис.: 7. Бібл.: 16.

Разработано модульное трехмерное геометрическое моделирование инструментов, процессов снятия припуска и формообразования обрабатываемой поверхности при глубинном однопроходном шлифовании со скрещивающимися осями абразивного круга и цилиндрического вала на базе унифицированных модулей инструмента, ориентации и формообразования. Шлифование цилиндрического вала по всей длине осуществляется за один установ абразивным кругом со скрещивающимися осями его и детали, где в процессе обработки черновой припуск снимается торцом инструмента, а чистовое шлифование и калибрование выполняется широким участком его периферии. При этом шлифовальный круг поворачивается на угол, который обеспечивает равномерное снятие припуска, а ось его поворота располагается на заданном расстоянии от торца, что обеспечивает работу широкого участка периферии инструмента.

***Ключевые слова:** модульное трехмерное геометрическое моделирование, цилиндрический вал, формообразование, снятие припуска, абразивный круг, скрещивающиеся оси.*

Рис.: 7. Библ.: 16.

The modular three-dimensional geometric modeling tools, processes of stock removal and shaping of machined surface in a deep single-pass grinding with crossed axes of abrasive wheel and cylindrical shaft on the basis of the unified modules of instrument, orientation and shaping are developed. The grinding of the cylindrical shaft over the entire length is carried out in a single setup abrasive wheel with crossed axes wheel and detail wherein during processing the rough allowance is removed end tool and finish grinding and calibration performed a wide portion of its periphery. Here the grinding wheel rotates, which provides uniform removal allowance, and its pivot axis is located at a predetermined distance from the end, which provides the work a wide section of tool periphery.

***Key words:** modular three-dimensional geometric modeling, cylindrical shaft, shaping, stock removal, grinding wheel, skew axes.*

Fig.: 7. Bibl.: 16.

Постановка проблеми. Для сучасного машинобудування характерним є широке застосування тривимірного моделювання. Недоліком існуючих 3-D моделей є недостатнє врахування особливостей абразивних інструментів і процесів зняття припуску та формоутворення при глибинному шліфуванні циліндричних валів зі схрещеними осями круга та деталі. Для забезпечення високої продуктивності оброблення, а отже, і підвищення рівня конкурентоспроможності вітчизняного машинобудування вищезазначена проблема набуває актуального значення.

На сучасних автомобілебудівних, машинобудівних заводах широко використовуються деталі з високоточними циліндричними поверхнями. Зазвичай їх оброблення

здійснюється на круглошліфувальних верстатах. Найбільш розповсюдженою схемою поздовжнього круглого шліфування є багатопрохідне шліфування периферією циліндричного круга [1], яке застосовується для оброблення деталей нормального класу точності. З метою підвищення продуктивності оброблення у процесі шліфування коротких жорстких деталей застосовується метод глибинного однопрохідного шліфування кругом із забірним конусом [2].

Оскільки сучасні ринкові відносини вимагають постійної зміни номенклатури оброблюваних деталей і збереження високої продуктивності та точності виробництва, виникає потреба в розробленні більш ефективних способів шліфування. Так, наприклад, відомий спосіб [3] глибинного шліфування поверхонь обертання широким циліндричним кругом зі схрещеними осями інструмента та оброблюваної деталі значно підвищує точність оброблення. Німецька фірма Junker досягла підвищення продуктивності оброблення в 5–6 разів у порівнянні з традиційними методами шліфування за рахунок впровадження способу шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі на верстатах Quickpoint 1001 і Quickpoint 1002 [4], Quickpoint 3000, Quickpoint 5000 [5], де швидкість абразивного й ельборового кругів досягає 140 м/с.

Тому створення та практичне застосування в різних галузях промисловості нових високопродуктивних методів глибинного однопрохідного шліфування циліндричних валів зі схрещеними осями деталі та абразивного круга вимагає розроблення нових взаємопов'язаних модульних тривимірних моделей інструмента, процесів зняття припуску і формоутворення.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботі [6] представлено 3D-моделі формуютьючих систем для верстатів, але не наведено загальних моделей, які б враховували процеси зняття припуску та формоутворення оброблюваних поверхонь. У роботах [7–9] представлено 3D-моделі формоутворення поверхонь і проектування інструментів, але наведені моделі не враховують процес зняття припуску. У роботі [10] наведені тривимірні моделі зняття припуску і формоутворення для циліндричних поверхонь при круглому шліфуванні. Вперше наведено модульне тривимірне геометричне моделювання інструментів, формоутворення оброблюваних деталей для різних шліфувальних верстатів у роботі [11]. У роботі [12] наведено узагальнюючі модульні тривимірні моделі. Однак у роботах [10–12] не наведені узагальнюючі модульні 3D геометричні моделі зняття припуску та формоутворення циліндричних валів на нові способи глибинного однопрохідного шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі.

У роботах [13; 14] розроблені модульні 3D-моделі інструмента, зняття припуску та формоутворення під час шліфування зі схрещеними осями кругів із надтвердих матеріалів та ступінчастих валів, але не наведені моделі для глибинного однопрохідного шліфування циліндричних валів зі схрещеними осями абразивного круга і деталі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відсутність загальних модульних тривимірних моделей інструмента, процесів зняття припуску та формоутворення для глибинного однопрохідного шліфування зі схрещеними осями циліндричного вала та абразивного круга.

Мета статті. Головною метою роботи є створення загальних модульних 3D-моделей інструмента, процесів зняття припуску та формоутворення оброблюваних поверхонь циліндричних валів з використанням уніфікованих модулів (інструмента, орієнтації та формоутворення) у процесі шліфування зі схрещеними осями круга і деталі, що сприятиме розробленню нових високопродуктивних способів глибинного однопрохідного шліфування циліндричних валів зі схрещеними осями абразивного круга та деталі.

Виклад основного матеріалу. Схема процесу глибинного однопрохідного шліфування зі схрещеними осями циліндричного вала 1 та абразивного круга 2 представлена

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

на рис. 1. У процесі оброблення вала 1 (рис. 1, а) шліфувальний круг 2 повертають навколо осі O_iZ_i на кут φ , який вибирається з умови, що у процесі зняття припуску повинна бути задіяна максимальна площа круга 2 при мінімальній площі плями контакту 3 (рис. 1, б) інструмента та деталі [14].

Для забезпечення високоефективного оброблення вала 1 та отримання заданої геометричної шорсткості його поверхні вісь повороту O_iZ_i шліфувального круга 2 розташовується на відстані b від торця інструмента (рис. 1, в), рівній радіусу заокруглення радіусної кромки r шліфувального круга та половини подачі на оберт s деталі 1, що забезпечує роботу широкою ділянкою периферії круга у процесі обробки.

Глибинне однопрохідне шліфування циліндричного вала 1 здійснюється абразивним кругом 2, який подається на всю глибину різання t (рис. 1, в) і переміщується вздовж осі O_0Z_0 системи координат деталі з подачею s , при цьому чорновий припуск знімається торцем круга, а чистове шліфування та калібрування здійснюється широкою ділянкою периферії круга.

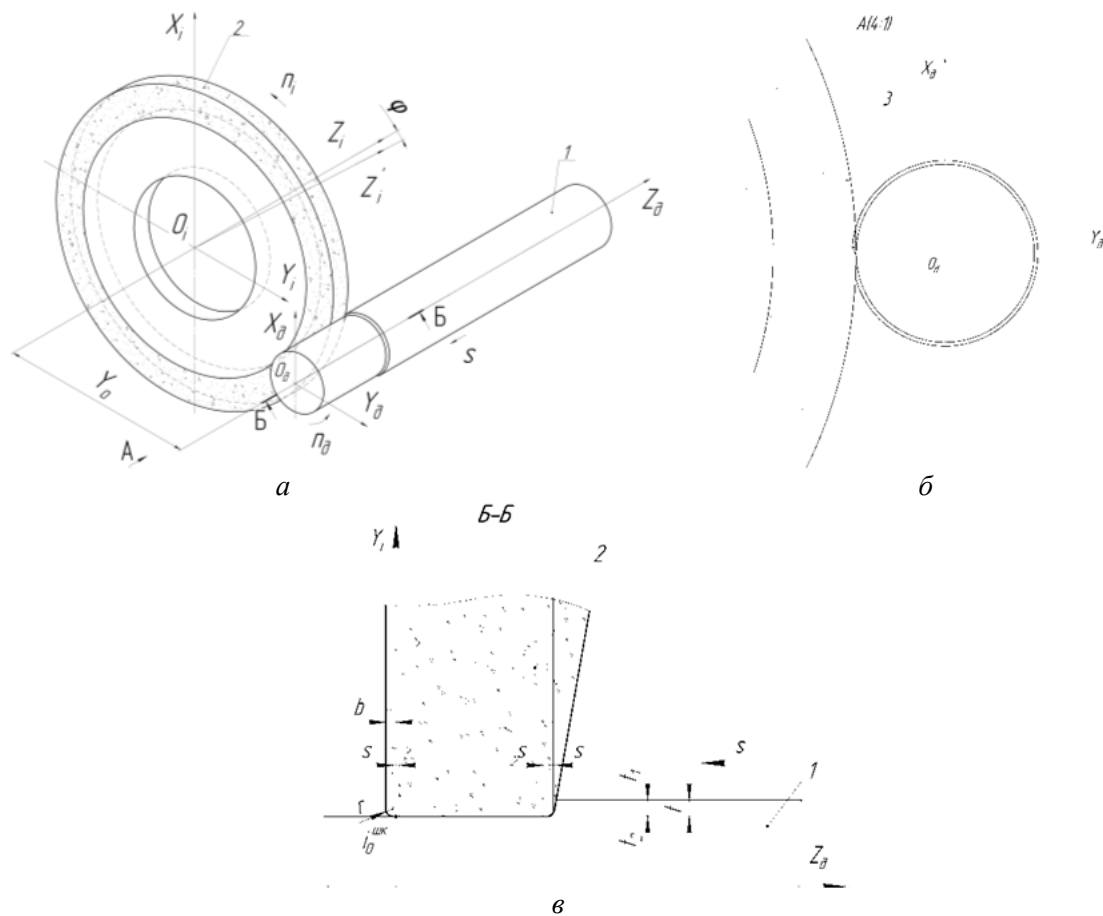


Рис. 1. Схема глибинного однопрохідного шліфування циліндричного вала

3D-модель поверхні інструмента задається циліндричним модулем його формоутворення з врахуванням зміни положення координати i (рис. 2, а) по всьому профілю шліфувального круга та кутом повороту φ шліфувального круга навколо осі O_iZ_i (рис. 1, а):

$$\bar{R}_{ШК} = MC^{ШК}_{Z_{ШК}(i) \cdot \beta_i \cdot R_{ШК}(i)} \cdot \bar{e}_4, \tag{1}$$

де $\bar{R}_{ШК}$ – радіус-вектор точок шліфувального круга;

$MC^{ШК}_{Z_{ШК}(i) \cdot \beta_i \cdot R_{ШК}(i)}$ – циліндричний модуль формоутворення шліфувального круга;

\bar{e}_4 – радіус-вектор початкової координати.

Циліндричний модуль поверхні шліфувального круга з урахуванням матриць переміщень $M2$, $M3$ [12] вздовж осей Y_i та Z_i відповідно і матриці повороту $M6$ навколо осі O_iZ_i описаний рівнянням:

$$MC_{Z_{ШК}(i) \cdot \beta_i \cdot R_{ШК}(i)}^{ШК} = M3(Z_{ШК}(i)) \cdot M6(\varphi_i) \cdot M2(R_{ШК}(i)), \quad (2)$$

$$R_{ШК}(\varphi, i) = M3(Z_{ШК}(i)) \cdot M6(\varphi_i) \cdot M2(R_{ШК}(i)) \cdot \bar{e}4, \quad (3)$$

де $R_{ШК}$ – радіус шліфувального круга.

Профіль шліфувального круга (рис. 2, а) описується за допомогою функції Хевісайда:

$$Z_{ШК}(i) = i \cdot (1 - \Phi(i - ir_0)) + \left[ir_0 + r \cdot \sin\left(\frac{i - ir_0}{r}\right) \right] \cdot [\Phi(i - ir_0) - \Phi(i - ir_{кін})] + (ir_0 + r) \cdot \Phi(i - ir_{кін}), \quad (4)$$

$$R_{ШК}(i) = R_{ШК} \cdot (1 - \Phi(i - ir_0)) + \left[R_{ШК} + r \cdot \cos\left(\frac{i - ir_0}{r}\right) - 1 \right] \times [\Phi(i - ir_0) - \Phi(i - ir_{кін})] + (R_{ШК} - r - i + ir_{кін}) \cdot \Phi(i - ir_{кін}), \quad (5)$$

де i – координата вздовж профілю шліфувального круга;

ir_0 , $ir_{кін}$ – відповідно початкова та кінцева координати радіуса заокруглення r перехідної радіусної кромки інструмента.

За допомогою рівнянь (4) та (5) отримано профіль абразивного круга радіусом 125 мм, шириною 16 мм з радіусом заокруглення r радіусної кромки 0,5 мм (рис. 2, б).

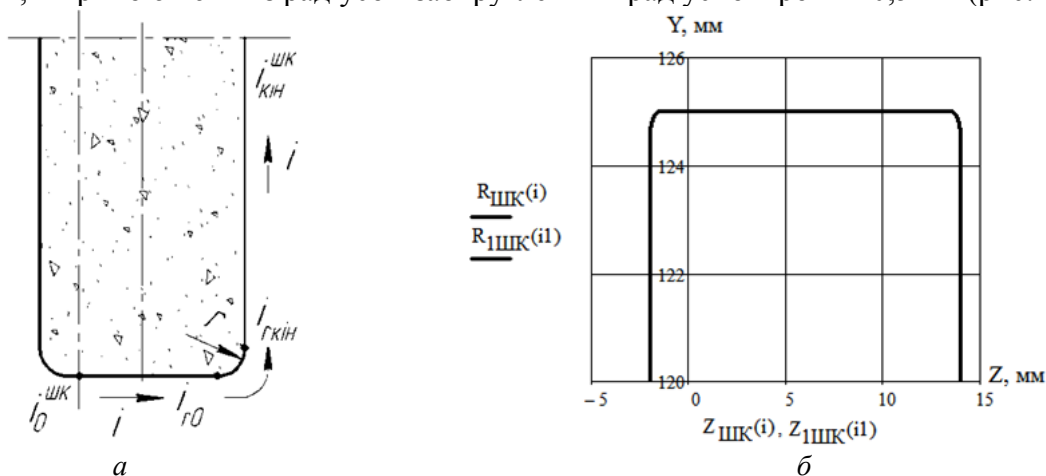


Рис. 2. Профіль шліфувального круга: $i_0^{ШК}$ та $i_{кін}^{ШК}$ – початкова та кінцева координати інструмента відповідно

Оброблювана поверхня циліндричного вала описується радіус-вектором інструмента, модулями орієнтації та формоутворення деталі:

$$\bar{R}_\delta = MC_{Z_\delta \cdot \beta_\delta \cdot Y_\delta} \cdot MS_{\varphi \cdot \gamma} \cdot \bar{R}_{ШК}, \quad (6)$$

$$MC_{Z_\delta \cdot \beta_\delta \cdot Y_\delta} = M3(Z_\delta) \cdot M6(\beta_\delta) \cdot M2(Y_\delta), \quad (7)$$

$$MS_{\varphi \cdot \gamma} = M4(\varphi) \cdot M5(\gamma), \quad (8)$$

де $MC_{Z_\delta \cdot \beta_\delta \cdot Y_\delta}$ – циліндричний модуль, який описує рух інструмента відносно оброблюваної деталі;

$MS_{\varphi \cdot \gamma}$ – сферичний модуль орієнтації шліфувального круга в системі координат деталі; Y_δ – міжосьова відстань деталі та інструмента (рис. 1, а);

β_δ – кут повороту деталі;

Z_δ – подача оброблюваної деталі вздовж вісі $O_\delta Z_\delta$.

Подача деталі Z_δ може бути представлена як добуток параметра гвинтового руху p та кута повороту деталі β_δ за одиницю часу:

$$Z_\delta = p \cdot \beta_\delta, \tag{9}$$

$$p = \frac{s}{2\pi}. \tag{10}$$

Отже, рівняння оброблюваної поверхні матиме вигляд:

$$\bar{R}_\delta(\beta_\delta, \alpha, i) = MC_{Z_\delta \cdot \beta_\delta \cdot Y_\delta} \cdot MS_{\varphi \cdot \gamma} \cdot MC^{ШК}_{Z_{ШК}(i) \cdot \beta i \cdot R_{ШК}(i)} \cdot \bar{e}4. \tag{11}$$

Для визначення профілю обробленого вала використаємо умову контакту профілів інструмента і деталі в різні моменти часу [15]:

$$\bar{n} \cdot \bar{V} = 0, \tag{12}$$

де \bar{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні шліфувального круга;

\bar{V} – вектор швидкості відносного руху шліфувального круга в системі координат деталі.

Лінія контакту шліфувального круга та деталі (рис.3) знаходиться за методикою, наведеною в роботі [16].

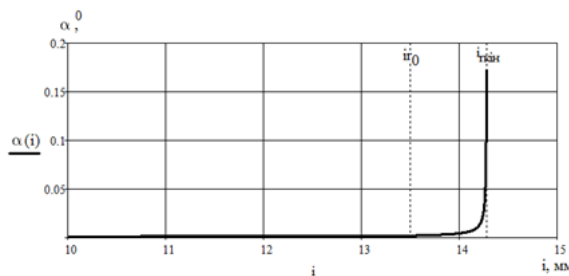


Рис. 3. Лінія контакту абразивного круга та циліндричного вала при глибинному однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями інструмента та деталі

На рис. 4 наведена пляма контакту 4 абразивного круга 6 та циліндричного вала 5 при глибинному однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями інструмента та деталі. Лінії, які обмежують пляму контакту 4, представлені на рис. 4, б, де 1 – лінія контакту зовнішнього циліндра оброблюваного вала і інструмента, 2 – лінія перетину інструмента і торцевої поверхні оброблюваної деталі, 3 – лінія контакту інструмента та деталі.

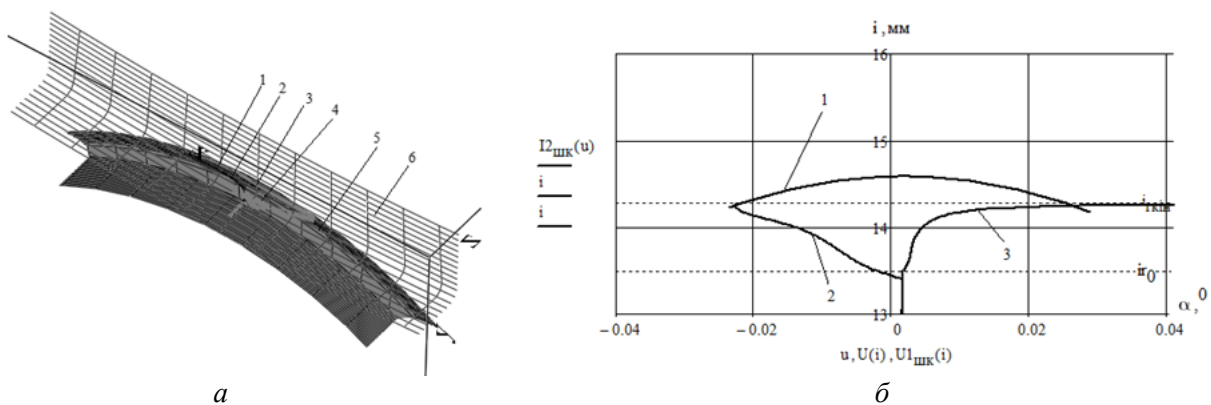


Рис. 4. Контакт шліфувального круга і циліндричного вала:
а – пляма контакту інструмента та деталі; б – лінії перетину інструмента та деталі

Схрещення осей шліфувального круга та оброблюваної деталі спричиняє виникнення геометричної шорсткості [14].

На рис. 5 наведені залежності величини геометричної шорсткості Ra від кута повороту φ шліфувального круга при різних значеннях величини подачі s деталі для глибинного однопрохідного шліфування зі схрещеними осями циліндричного вала та абразивного круга. Як видно із графіків, зі збільшенням величин кута схрещування φ осей та подачі s деталі величина геометричної шорсткості Ra збільшується.

Забезпечення заданого значення величини шорсткості обробленої поверхні досягається регулюванням величинами подачі деталі та кута повороту шліфувального круга.

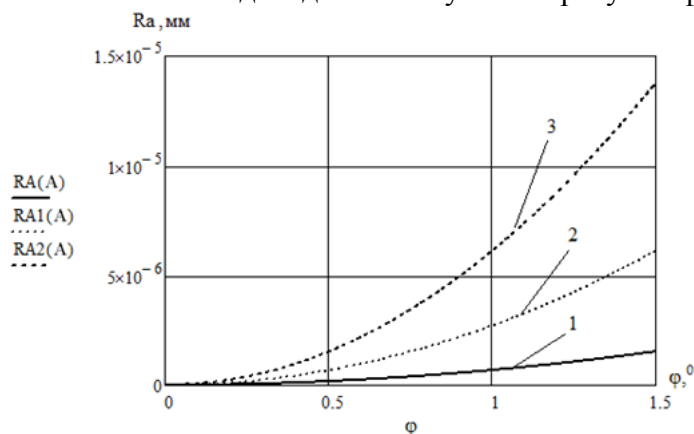


Рис. 5. Залежність геометричної шорсткості від кута повороту шліфувального круга при подачах деталі $s = 0,05$ мм/об (1), $s = 0,1$ мм/об (2), $s = 0,15$ мм/об (3)

На рис. 6 наведено графік розподілу питомої продуктивності шліфування $Q(i)$, яка визначається із виразу (13), вздовж профілю круга при глибинному однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного вала та абразивного круга.

$$Q(i) = \int_{\alpha 1(i)}^{\alpha 2(i)} Vn(\alpha, i) \cdot R_{шк}(i) d\alpha, \quad (13)$$

де Vn – проекція вектора відносної швидкості руху інструмента на напрямок нормалі до його поверхні.

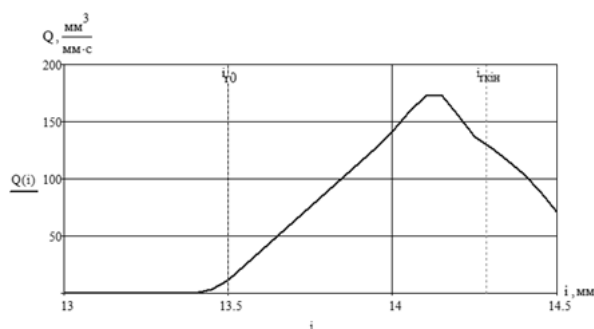


Рис. 6. Розподіл питомої продуктивності шліфування вздовж профілю абразивного круга під час оброблення циліндричного вала

Як видно із графіка (рис. 6), питома продуктивність шліфування рівномірно розподілена вздовж торця круга (від координати ir_0 до $ir_{кін}$), який є чорною ділянкою, і мінімальна на периферії круга (до координати ir_0), яка є чистовою і калібруючою ділянкою, що забезпечує підвищення точності формоутворення за рахунок рівномірного зносу шліфувального круга та розвантаження калібруючої ділянки.

На рис. 7 наведено графіки розподілу глибини різання t вздовж профілю шліфувального круга для різних значень кута повороту φ інструмента при глибинному однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями абразивного круга та циліндричного вала. Як видно із графіків, найбільші значення глибини різання t припадають на торець, який є найбільш завантаженою ділянкою шліфувального круга, середні значення глибини різання приходяться на перехідну радіусну кромку, а найменші – на периферію, яка є чистою і калібруючою ділянкою. Такий розподіл глибин різання вздовж профілю інструмента забезпечує рівномірний знос шліфувального круга, а отже, і високу точність формоутворення деталі.

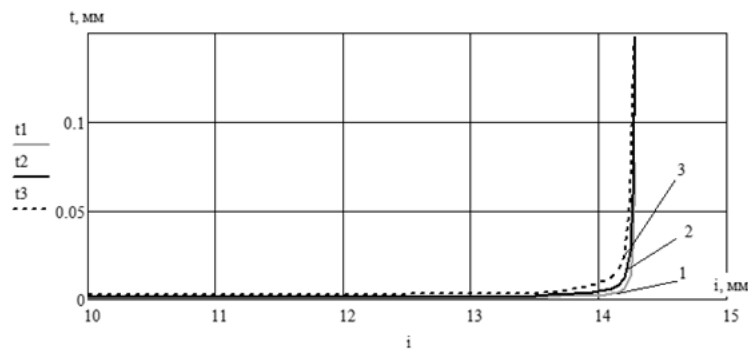


Рис. 7. Розподіл глибини різання вздовж профілю абразивного круга при кутах повороту інструмента $\varphi = 0,5^\circ$ (1), $\varphi = 1^\circ$ (2), $\varphi = 2^\circ$ (3)

Висновки. Для нового способу глибинного однопрохідного шліфування циліндричних валів зі схрещеними осями абразивного круга та деталі були запропоновані модульні тривимірні моделі інструмента, процесів зняття припуску та формоутворення оброблюваних циліндричних поверхонь на базі трьох уніфікованих модулів: інструментального, орієнтації і формоутворення.

Для підвищення продуктивності оброблення за рахунок роботи широкої ділянки периферії круга та отримання заданої геометричної шорсткості обробленої поверхні циліндричного вала вісь повороту шліфувального круга розміщують на відстані від торця інструмента, рівній радіусу заокруглення його радіусної кромки та половини подачі на оберт деталі.

Оброблення циліндричного вала здійснюється за один установ орієнтованим абразивним кругом, при цьому чорнове шліфування здійснюється торцем інструмента, чистове шліфування та калібрування – широкою розвантаженою ділянкою його периферії, що забезпечує рівномірний знос шліфувального круга і підвищення точності формоутворення деталі.

Список використаних джерел

1. Ящерицын П. И. Основы резания материала и режущий инструмент / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Н. И. Жигалко. – Минск : Высшейшая школа, 1975. – 528 с.
2. Патент №50-636 (Япония) кл. В24В 53/100, 1976, Тоёда Коки К.К.. Способ правки шлифовального круга.
3. Авторское свидетельство СРСР № 1234163, кл. В24В 5/04, 1984 / В. И. Кальченко. Способ круглого шлифования с продольной подачей.
4. Круглое шлифование с ЧПУ: [Просп. фирмы «Junkermaschinen» на станки «Quickpoint 1001» и «Quickpoint 1002»]/ ErwinJunker: MaschinenfabricGmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 7618. – Nordrash, Germany, 1991. – 16 с.
5. Quickpoint. Flexible high-performance grinding machine: [Журнал фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: MaschinenfabricGmbh, Junkerstraße 2. – Nordrash, Germany, 2015. – Октябрь. – 12 с.
6. Решетов Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1996. – 336 с.

7. Перепелица Б. А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием / Б. А. Перепелица. – Х. : Вища школа, 1991. – 512 с.
8. Равская Н. С. Основы теории формообразования поверхностей при механической обработке / Н. С. Равская, П. Р. Родин // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 1998. – № 33. – С. 74–82.
9. Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., і ін. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці. Житомир: ЖГІТ 2000. – 232 с.
10. Кальченко В. І. Глибинне кругле шліфування зі схрещеними осями деталі і круга / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, М. А. Дмитренко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2009. – № 37. – С. 64–72.
11. Кальченко В. В. Модульне 3D-моделювання формоутворюючих систем шліфувальних верстатів, інструментів та оброблюваних поверхонь / В. В. Кальченко // Вісник Тернопільського державного технологічного університету. – 2005. – Т. 12. – С. 68–79.
12. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 256 с.
13. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями ступінчастого вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 3 (67). – С. 91–99.
14. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного та ступінчастого вала і ельборового круга / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Н. М. Сіра // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Х. : НТУ «ХПИ», 2016. – Вып. 86. – С. 36–48.
15. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П. Р. Родин. – К. : Вища школа, 1977. – 192 с.
16. Кальченко В. И. Повышение производительности и точности шлифования со скрещивающимися осями эльборового круга и ступенчатого валика / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научн.-техн. сб. – Х. : НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 80. – С. 131–140.

References

1. Yashcherytsyn, P.I., Eremenko, M.L. & Zhigalko, N.I. (1975). *Osnovy rezaniia materiala i rezhushhii instrument [Fundamentals of cutting material and the cutting tool]*. Minsk: Vyshejschaya shkola (in Russian).
2. Toeda Koki, K.K. (1976). *Sposob pravki shlifovalnogo kruga [A method of grinding wheel dressing]*. Patent №50-636 klas V24V 53/100 (Yaponiia).
3. Kalchenko, V.I. (1984). *Sposob kruglogo shlyfovaniia s prodolnoi podachei [Cylindrical grinding method with a longitudinal feed]*. Avtorskoe svidetelstvo SRSR №1234163, klas V24V 5/04.
4. Krugloe shlifovanie s ChPU [Cylindrical grinding with CNC]. (1991). Prospekt firmy «Junkermaschinen» na stanki «Quickpoint 1001» i «Quickpoint 1002» – Junkermaschinen company prospectus on the machines «Quickpoint 1001» i «Quickpoint 1002». Germany.
5. Quickpoint. Flexible high-performance grinding machine. (2015, October). Zhurnal firmy «Junkermaschinen» – Junkermaschinen company magazine (Germany).
6. Reshetov, D.N. & Portman, V.T. (1996). *Tochnost metallorezhushchikh stankov [Precision of machine tools]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
7. Perepelitsa, B.A. (1991). *Otobrazhenie affinnogo prostranstva v teorii formoobrazovaniia poverhnostei rezaniem [Showing affine space in the theory of forming cutting surfaces]*. Kharkov: Vyshha shkola (in Russian).
8. Ravskaya, N.S. & Rodin, P.R. (1998). *Osnovy teorii formoobrazovaniia poverhnostei pri mehanicheskoy obrabotke [Fundamentals theory of forming surfaces in machining]*. *Vestnik NTUU «Kievskii politehnicheskij institut». Mashinostroenie – Journal of Mechanical Engineering the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”*, no. 33, pp. 74–82 (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. Ravska, N.S., Rodin, P.R. & Nikolaenko T.P. et al. (2000). *Osnovy formoutvorennia poverkhon pry mekhanichnii obrobtsi [Fundamentals of forming surfaces in machining]*. Zhytomyr: ZhITI (in Ukrainian).
10. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. & Dmy`trenko M.A. (2009). Glybynne kruhle shlifuvannia zi shreshhenymy osiamy detali i kruha [Deep cylindrical grinding with crossed axes and circle details]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tehnologichnogo universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 37, pp. 64–72 (in Ukrainian).
11. Kalchenko, V.V. (2005). Modulne 3D-modeliuvannia formoutvoriuiuchykh system shlifovalnykh verstativ, instrumentiv ta obrobluivanykh poverkhon [Modular 3D modeling formative systems of grinding machines, tools and machined surfaces]. *Visnyk Ternopilskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu – Journal of Ternopil State Technological University*, vol. 12, pp. 68–79 (in Ukrainian).
12. Grabchenko, A.I., Kalchenko, V.I. & Kalchenko, V.V. (2009). *Shlifovanie so skreshhivaiushchimisia osiami instrumenta i detail [Grinding with crossed axes of tool and workpiece]*. Chernigov: ChDTU (in Russian).
13. Kalchenko, V.I. & Kalchenko D.V. (2013). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, procesu zniattia prypusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi shreshchenymy osiamy stupinchastoho vala i kruha [Modular 3D-modeling tools, process of removal allowance and forming in grinding with crossed axes stepped shaft and wheel]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu. Seriiia “Tekhnichni nauky” – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 3, pp. 91–99 (in Ukrainian).
14. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. & Sira N.M. (2016). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, procesiv zniattia prypusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi shreshchenymy osiamy tsylindrychnoho ta stupinchastoho vala i elborovoho kruha [Modular 3D-modeling tools, processes of removal allowance and shaping in grinding with crossed axes stepped cylindrical shaft and CBN wheel]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tool in technological systems*, no. 86, pp. 36–48 (in Ukrainian).
15. Rodin, P.R. (1977). *Osnovy formoobrazovaniia poverkhnosti rezaniem [Fundamentals of forming surfaces with cutting]*. Kiev: Vyshha shkola (in Russian).
16. Kalchenko, V.I., Pogiba, N.N. & Kalchenko, D.V. (2011). Povyshenie proizvoditelnosti i tochnosti shlifovaniia so skreshchivaiushchimisia osiami elborovogo kruga i stupenchatogo valika [Increased productivity and precision of grinding with crossed axes CBN wheel and staped shaft]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tool in technological systems*, no. 80, pp. 131–140(in Ukrainian).

Сіра Наталія Миколаївна – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Серая Наталия Николаевна – аспірант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Sira Nataliia – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: nnseraya@ukr.net

УДК 621.923.42

*Олена Следнікова***МОДУЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ КРУГІВ, ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ШЛІФУВАННІ ТОРЦІВ НЕКРУГЛИХ ДЕТАЛЕЙ***Елена Следникова***МОДУЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ КРУГОВ, СНЯТИЯ ПРИПУСКА И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ШЛИФОВАНИИ ТОРЦОВ НЕКРУГЛЫХ ДЕТАЛЕЙ***Olena Sliednikova***MODULAR MODELING OF WHEELS' PROFILES, STOCK REMOVAL AND FORMATION WITH BILATERAL GRINDING OF ENDS OF NON-CIRCULAR DETAILS**

Розроблено модульне тривимірне геометричне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення оброблених торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем орієнтованими профільованими шліфувальними кругами на базі п'яти уніфікованих модулів: інструментального, орієнтації, переносу, транспортування і подачі деталей та формоутворення. Шліфування деталей з некруглим профілем відбувається за один прохід абразивними кругами, які мають ділянки для зняття чорного припуску та калібруючі. При цьому інструменти орієнтуються у двох площинах для забезпечення зняття всього припуску за один прохід, а перед обробленням здійснюють правку ділянок для зняття чорного припуску та калібруючих алмазними олівцями.

Ключові слова: модульне тривимірне геометричне моделювання, двостороннє торцешліфування, деталі з некруглим профілем, орієнтовані шліфувальні круги, комбінована правка.

Рис.: 5. Бібл.: 14.

Разработано модульное трехмерное геометрическое моделирование инструментов, процессов снятия припуска и формообразования обрабатываемых торцевых поверхностей деталей с некруглым профилем ориентированными профилированными шлифовальными кругами на базе пяти унифицированных модулей: инструментального, ориентации, переноса, транспортировки и подачи деталей и формообразования. Шлифование деталей с некруглым профилем происходит за один проход абразивными кругами, которые имеют участки для снятия черного припуска и калибрующие. При этом инструменты ориентируются в двух плоскостях для обеспечения снятия всего припуска за один проход, а перед обработкой осуществляют правку участков для снятия черного припуска и калибрующих алмазными карандашами.

Ключевые слова: модульное трехмерное геометрическое моделирование, двустороннее торцешлифование, детали с некруглым профилем, ориентированные шлифовальные круги, комбинированная правка.

Рис.:5. Библ.:14.

Developed modular three-dimensional geometric modeling tools, processes, stock removal and shaping the processed end faces of parts with non-circular profile oriented profiled grinding wheels on the basis of the five unified modules: the instrumental, orientation, migration, transport and supply of parts and shaping. Grinding parts with a non-circular profile occurs in a single pass abrasive wheels which have areas of rough allowance for removal and calibrating. At the same time the tools are oriented in two planes to ensure removal of all allowance in one pass, and before the treatment is performed to remove portions editing rough allowance and calibrating diamond pencil.

Key words: modular three-dimensional geometric modeling, two-sided face grinding, the parts with non-circular profile, oriented grinding wheels, dressing combination.

Fig.:5. Bibl.: 14.

Постановка проблеми. У сучасному машинобудуванні наявна тенденція розвитку тривимірного моделювання. В існуючих тривимірних моделях недостатньо враховують особливості інструментів і зняття припуску в процесі двостороннього шліфування орієнтованими шліфувальними кругами. Для машинобудівних підприємств України, метою яких є підвищення точності та продуктивності оброблення, ця проблема набуває актуальності.

На сучасних машинобудівних підприємствах України під час оброблення відповідальних торцевих поверхонь деталей машин з метою забезпечення високої точності використовують операції шліфування. Зазвичай оброблення торців деталей відбувається на плоскошліфувальних, односторонніх торцешліфувальних, двосторонніх торцешліфувальних верстатах. Більш продуктивним та точним способом оброблення є шліфування торців деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах.

Тому розроблення нових модульних тривимірних геометричних моделей інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення дозволяє описати процес двостороннього торцевого шліфування торців деталей з некруглим профілем профільованими шліфуваль-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ними кругами, що складаються з двох ділянок та орієнтуються у двох площинах, будуть сприяти розробленню нових високоефективних способів та технологій шліфування.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [1; 2; 3] наведено модульні тривимірні геометричні моделі формують систем верстатів та оброблюваної поверхні при двосторонньому торцевому шліфуванні, які використовуються під час розрахунку точності формоутворення та процесу зняття припуску.

Відома фірма Saturn (Німеччина) [4] виконує обробку різноманітних деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, де шліфування відбувається з невеликим нахилом інструментів в одній площині. За такого способу максимальний діаметр на вході деталі в зону оброблення виконує чорнову обробку, а також її чистове шліфування на виході, що знижує точність оброблення за рахунок зносу шліфувального круга.

У роботі [5] розглядається двостороннє шліфування торців циліндричних деталей з круглим профілем, які обертаються під час оброблення. Такий спосіб оброблення не потребує орієнтації деталей у барабані.

У роботі [6] розглядається двостороннє шліфування торців деталей, які не обертаються під час оброблення. Орієнтація шліфувального круга здійснюється у двох площинах. Але відсутнє дослідження орієнтації деталей у барабані подачі виробів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відсутність модульних тривимірних моделей інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь некруглих деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах.

Мета статті. Головною метою роботи є створення модульних моделей інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення оброблюваних торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем орієнтованими профільованими шліфувальними кругами та оптимізація кута орієнтації деталей у барабані подачі виробів. Це дозволить аналізувати процеси зняття припуску та формоутворення, створити нові способи, а на їх базі – високоефективні технології шліфування торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 зображено розрахункову схему процесу двостороннього шліфування торців деталей з некруглим профілем орієнтованими шліфувальними кругами. Заготовки 7, закріплені у втулках 6 барабана подачі виробів 5, орієнтуються для підвищення точності обробки. Шліфувальні круги 3, 4 разом з шліфувальними бабками 1, 2 повернуті на кути ψ у вертикальній та φ у горизонтальній площинах відносно сферичних шарнірів 10. Кути орієнтації шліфувальних кругів обираються залежно від припуску, що знімається із заготовки. Правка шліфувальних кругів відбувається алмазними олівцями 8, 9.

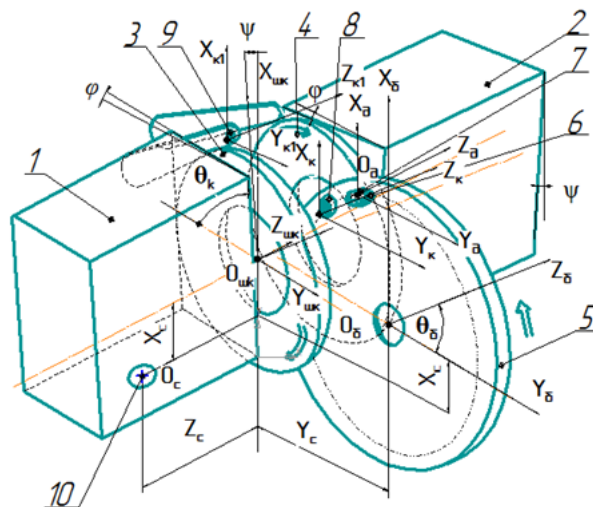


Рис. 1. Розрахункова схема формоутворення торців циліндричних деталей з некруглим профілем

Перед початком процесу оброблення абразивний інструмент правлять алмазними олівцями на верстаті, де виконуватиметься шліфування деталей.

У процесі оброблення деталей на двосторонньому торцешліфувальному верстаті використовуються круги, що складаються з двох ділянок: для зняття чорнового припуску та калібруючих. Правка ділянок для зняття чорнового припуску відбувається пристроєм для правки, що постачається разом з верстатом і знаходиться на корпусі шліфувальної бабки, а калібруючих – алмазним олівцем, що розташовується в барабані подач виробів.

Структура формуючої системи двостороннього торцешліфувального верстата (рис. 2) відрізняється від наведеної в [1] тим, що відбувається правка двох ділянок шліфувальних кругів алмазними олівцями. Вона складається з оброблюваної деталі D , формуючої системи верстата $\Phi C D$, яка описує формоутворення під час оброблення деталей, абразивного інструмента I , формуючої системи верстата $\Phi C I I$ та алмазного олівця $Ia1$ при профілюванні ділянки для зняття чорнового припуску й формуючої системи верстата $\Phi C I 2$ і алмазного олівця $Ia2$ при профілюванні калібруючої ділянки.

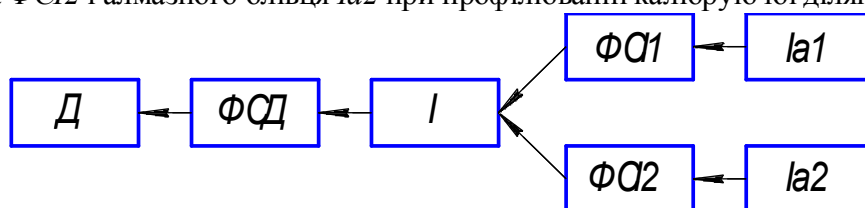


Рис. 2. Структура формуючої системи двостороннього торцешліфувального верстата

Під час розроблення тривимірної моделі інструмента спочатку описується форма твірної, яка рухається по напрямній. При описанні профілю круга використана та ж сама методика, як і для лезового інструмента [7], який представляє собою твірну з трьома ділянками. Профіль інструмента у процесі оброблення торової поверхні складається з однієї ділянки [8], а під час оброблення ступінчастих валів – із двох ділянок [9].

Для побудови профілю шліфувального круга (рис. 3) об'єднаємо чорнову та калібруючу ділянки за допомогою функції Хевісайда:

$$Z_{ins}(i) = L \cdot (1 - \Phi(i - i_{12})) + (L + (i - i_{12}) \cdot \sin(\alpha)) \cdot (\Phi(i - i_{12}) - \Phi(i - i_{13})), \quad (1)$$

$$R_{ins}(i) = (R_1 + i)(1 - \Phi(i - i_{12})) + (R_1 + i_{12} + (i - i_{12}) \cdot \cos(\alpha)) \cdot (\Phi(i - i_{12})), \quad (2)$$

де $R_{ins}(i)$, $Z_{ins}(i)$ – координати профілю шліфувального круга вздовж осей $O_{шк}Y_{шк}$ та $O_{шк}Z_{шк}$ системи координат $X_{шк}Y_{шк}Z_{шк}$ відповідно;

Φ – функція Хевісайда;

i – i -та координата профілю шліфувального круга (рис. 3, а);

R_1 – початковий радіус абразиву круга та початок i -тої координати;

i_{12} – координата початку калібруючої ділянки шліфувального круга;

L – відстань від початку системи координат до торця інструмента;

α – кут нахилу калібруючої ділянки шліфувального круга відносно ділянки для зняття чорнового припуску.

Інструментальна поверхня описується циліндричним модулем, який складається з трьох однокоординатних матриць, описаних у роботі [10]:

$$\bar{r}_{ins} = C_{Z_{ins}(i)\theta_{ms}R_{ms}(i)}^I \cdot \bar{e}_4, \quad (3)$$

де \bar{r}_{ins} – радіус-вектор точок шліфувального круга;

$C_{Z_{ins}(i)\theta_{ms}R_{ms}(i)}^I$ – циліндричний модуль інструментальної поверхні;

θ_{ins} – параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга

\vec{e}_4 – радіус-вектор початку системи координат.

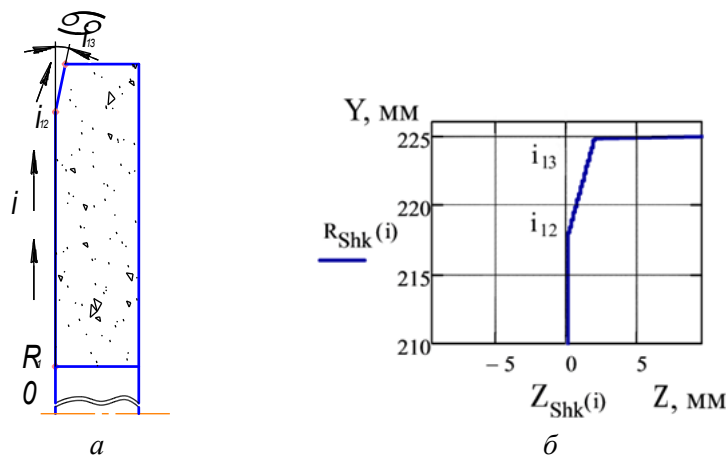


Рис. 3. Профіль шліфувального круга

3D-модель поверхні інструмента, отримана за допомогою рівняння (3), представлена на рис. 4.

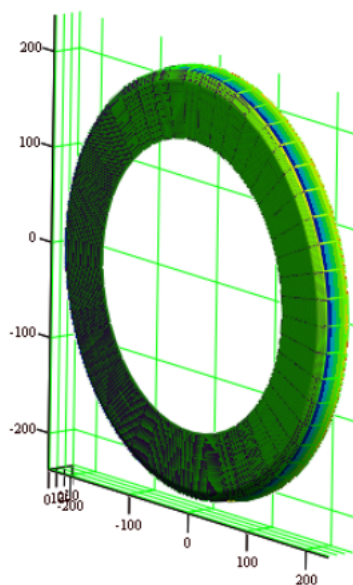


Рис. 4. 3D-модель поверхні інструмента

З метою забезпечення необхідної точності виконується комбінована правка (рис. 5). Пристрій для правки 3 чорнових ділянок шліфувальних кругів 1, на якому закріплений алмазний олівець 2 (рис. 5, а), монтується на корпусі бабки. Пристрій для правки повертається на ті ж кути, що і шліфувальні круги. Правка калібруючих ділянок, суміжної із зовнішнім діаметром інструмента 1 (рис. 5, б), відбувається алмазним олівцем 2, який закріплений у барабані подачі деталей 3. При цьому на вході деталі в зону обробки калібруюча ділянка інструмента не бере участь у зрізанні чорнового припуску. Зняття чорнового припуску здійснюється центральними ділянками шліфувальних кругів, а остаточна точність оброблюваних деталей формується калібруючими ділянками.

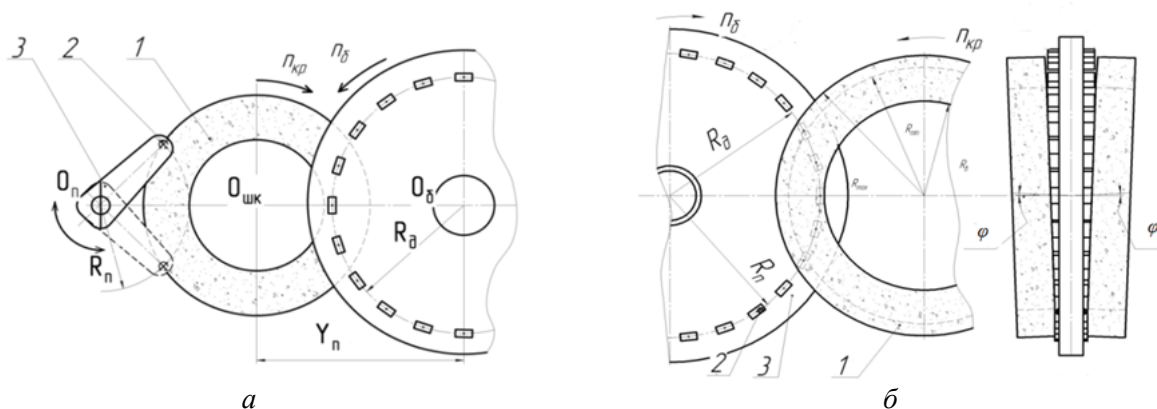


Рис. 5. Комбінована схема правки

При правці чорнової ділянки радіус-вектор точок траєкторії руху алмазного олівця в системі координат круга дорівнює:

$$\bar{R}_{Плм} = S_{\theta_n, \varphi, \psi}^{\Phi n} \cdot S_{\varphi, \psi, X_c}^{On} \cdot P_{Z_c, Y_c, X_c}^{\Pi} \cdot C_{\theta_n, R_n}^{In} \cdot \bar{e}_4, \tag{4}$$

$$C_{\theta_n, R_n}^{In} = M_6(\theta_n) \cdot M_2(R_n), \tag{5}$$

$$P_{Z_c, Y_c, X_c}^{\Pi} = M_3(Z_c) \cdot M_2(Y_c) \cdot M_1(X_c), \tag{6}$$

$$S_{\varphi, \psi, X_c}^{On} = M_4(\varphi) \cdot M_5(-\psi) \cdot M_1(-X_c), \tag{7}$$

$$S_{\theta_n, \varphi, \psi}^{\Phi n} = M_4(-\varphi) \cdot M_5(\psi) \cdot M_6(\theta_n), \tag{8}$$

де C_{θ_n, R_n}^{In} – інструментальний модуль правки чорнової ділянки;

P_{Z_c, Y_c, X_c}^{Π} – модуль переносу;

$S_{\varphi, \psi, X_c}^{On}$ – модуль орієнтацій при правці;

$S_{\theta_n, \varphi, \psi}^{\Phi n}$ – модуль формоутворення при правці;

$M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух та повороти навколо відповідних осей;

X_c, Y_c, Z_c – розміри, які визначають положення центра сферичного пальця щодо барабана подачі і робочої площини круга;

φ, ψ – кут орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно;

θ_n – параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга;

R_n – радіус, на якому розташовується алмазний олівець і пристрої правки;

$e_4 = (0,0,0,1)^T$ – радіус-вектор вершини алмазного олівця.

При правці калібруючої ділянки радіус-вектор точок траєкторії руху алмазного олівця в системі координат інструмента дорівнює:

$$\bar{R}_{Плк} = C_{\theta_n, R_n}^{\Phi nk} \cdot S_{\varphi, \psi, X_c}^O \cdot P_{Z_c, Y_c, X_c}^{\Pi} \cdot C_{\theta_n, R_n}^{Ink} \cdot \bar{e}_4, \tag{9}$$

$$C_{\theta_n, R_n}^{Ink} = M_6(\theta_n) \cdot M_2(R_n), \tag{10}$$

$$S_{\varphi, \psi, X_c}^O = M_4(\varphi) \cdot M_5(-\psi) \cdot M_1(-X_c), \tag{11}$$

$$C_{\theta_n}^{\Phi nk} = M_6(\theta_n). \tag{12}$$

де C_{θ_6, R_6}^{Ink} – інструментальний модуль правки калібруючої ділянки;

θ_6 – параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга;

R_6 – радіус, на якому розташовуються осі заготовок у барабані подачі.

Номинальна поверхня оброблюваної деталі описується рівнянням:

$$\bar{R}_D = M_D \cdot C^I \cdot \bar{e}4, \quad (13)$$

де M_D – матриця переходу із системи координат інструмента в систему координат деталі.

Підставивши вираз (3) у вираз (13), отримуємо модульну 3D-модель формоутворення торцевих поверхонь, яка описується добутком 5 модулів: інструментального C^I , орієнтації S^O , переносу P^{II} , транспортування та подачі деталей C^T , формоутворення C^Φ та системою зв'язків.

$$\bar{R}_D = C^\Phi \cdot C^T \cdot P^{II} \cdot S^O \cdot C^I \cdot \bar{e}4, \quad (14)$$

$$C_{Z_{ins}(i)\theta_{ins}R_{ins}(i)}^I = M_3(Z_{ins}(i)) \cdot M_6(\theta_{ins}) \cdot M_2(R_{ins}(i)), \quad (15)$$

$$C_{Z_6, \theta_6, Y_6}^T = M_3(Z_6) \cdot M_6(\theta_6) \cdot M_2(Y_6), \quad (16)$$

$$C_{Z_\phi, \theta_\phi, Y_\phi}^\Phi = M_3(Z_\phi) \cdot M_6(\theta_\phi) \cdot M_2(Y_\phi), \quad (17)$$

де Y_6, Z_6 – координати оброблюваної деталі в системі координат подавального барабана;

$Z_\phi, \theta_\phi, Y_\phi$ – аргументи однокоординатних матриць формоутворення.

Система зв'язків:

$$X_c, Y_c, Z_c = const, \quad (18)$$

$$R_{ins} = R_{ins}(i), \quad (19)$$

$$Z_{ins} = Z_{ins}(i), \quad (20)$$

$$Y_6 = R_6, \quad (21)$$

$$Z_\phi = Z_\phi(\theta_6), \quad (22)$$

$$Z_6 = Z_6(\theta_6), \quad (23)$$

$$\theta_\phi = \theta_\phi(\theta_6), \quad (24)$$

$$\psi, \varphi = const, \quad (25)$$

$$Y_\phi = const, \quad (26)$$

де $const$ – значення параметрів, які не змінюються під час оброблення: відстань від осі обертання барабана подачі виробів до шарніра X_c, Y_c, Z_c , кути орієнтації шліфувальних кругів φ, ψ ;

$R_{ins}(i), Z_{ins}(i)$ – координати профілю шліфувального круга, які зв'язані між собою за допомогою i -го параметра;

$Z_6(\theta_6)$ – координата оброблюваної деталі в системі координат подавального барабана, яка змінюється залежно від кута повороту барабана подачі виробів θ_6 .

$Z_\phi(\theta_6), \theta_\phi(\theta_6)$ – координати формоутворення поверхні деталі, що змінюються залежно від кута повороту барабана подачі виробів θ_6 .

Умова контакту профілів інструмента та деталі (25)

$$\frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_{ins}} \times \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial i} \cdot \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_o} = 0. \quad (27)$$

Висновки. Запропоноване модульне тривимірне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь оброблюваних деталей з некруглим профілем орієнтованими профільованими кругами на базі п'яти уніфікованих модулів: інструментального, орієнтації, переносу, транспортування і подачі деталей та формоутворення, що сприятиме створенню нових способів оброблення.

З аналізу моделей розроблені нові способи шліфування торців некруглих деталей, де досліджено вплив орієнтації деталі на точність оброблення її торцевої поверхні [11–13].

Для збільшення продуктивності оброблення шліфувальні круги орієнтують у двох площинах. При цьому профіль інструмента складається з двох ділянок для зняття чорнового припуску та калібруючі, що підвищує точність оброблення, розділення чорнкової та чистової обробок. З метою забезпечення високої точності використовується комбінована правка інструментів. Чорнові ділянки правлять алмазними олівцями, закріпленими у пристрої, що постачається разом з верстатом, а калібруючі – алмазними олівцями, які кріпляться в барабані подачі виробів.

Така методика може бути використана під час шліфування деталей з некруглим профілем на односторонніх торцешліфувальних, плоскошліфувальних та заточувальних верстатах. При шліфуванні на заточувальних верстатах орієнтація кругів у двох площинах заміняється одним кутом орієнтації інструмента [14].

Список використаних джерел

1. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧГТУ, 2009. – 356 с.
2. *Кальченко В. В.* Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та деталі : дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Кальченко. – Х. : НТУ «ХП», 2006. – 489 с.
3. *Кальченко В. В.* Модульне 3D-моделювання формоутворюючих систем шліфувальних верстатів, інструментів та оброблюваних поверхонь / В. В. Кальченко // Вісник Тернопільського державного технологічного університету. – 2005. – Т. 12. – С. 68–79.
4. *Saturn.* Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 с.
5. *Дослідження* процесу однопрохідного двостороннього шліфування / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2006. – Вип. 28. – С. 35–44.
6. *Кальченко В. В.* Формоутворення не обертаючихся при обробці циліндричних деталей профільованими і орієнтованими кругами / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Вісник ЧДТУ. – 1999. – № 9. – С. 11–17.
7. *Модульное 3D-моделирование* инструментов, процесса съема припуска и формообразования при растачивании седел клапанов ориентированной пластинкой / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, Г. А. Веремей, Е. С. Следникова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 2 (78). – С. 51–60.
8. *Кальченко В. І.* Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями ступінчастого вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 3 (67). – С. 91–99.
9. *Кальченко В. І.* 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями торової поверхні і круга / В. І. Кальченко, О. С. Следникова, Д. В. Кальченко // Технічні науки та технології. – 2015. – № 2 (2). – С. 31–38.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко, О. С. Следнікова // Резание и инструмент в технологических системах. – 2015. – Вып. 85. – С. 98–106.

11. Пат. №99707 Україна, МПК В24В7/17. Спосіб двостороннього шліфування торців некруглих деталей / Следнікова О. С., Кальченко Д. В. – опубл. 25.06.2015. Бюл. № 12.

12. Пат. №99832 Україна, МПК В24В5/00. Спосіб шліфування торців прямокутних непереточуваних пластин орієнтованим кругом / Кальченко В. І., Музичка Д. Г., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. – опубл. 25.06.2015. Бюл. № 12.

13. Пат. №97946 Україна, МПК В24В7/00 Спосіб шліфування торців непереточуваних пластин з прямокутним профілем / Кальченко В. І., Музичка Д. Г., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. – опубл. 10.04.2015. Бюл. № 7.

14. 3D-моделювання інструментів та формоутворення при шліфуванні торців непереточуваних прямокутних пластин орієнтованим кругом / В. І. Кальченко, О. С. Следнікова, Д. В. Кальченко, Д. Г. Музичка // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2 (73). – С. 55–62.

References

1. Grabchenko, A.I., Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. (2009). *Shlifovanie so skreshchivaiushchimisia osiami instrumenta i detali [Grinding with crossed axes tool and workpiece]*. Chernigov: ChNTU (in Russian).

2. Kalchenko, V.V. (2006). *Naukovi osnovy efektyvnoho shlifuvannia zi skreshchenymy osiamy abrazivnoho instrumentu ta detali [Scientific bases of effective cross-axes grinding abrasive tools and parts]*. Doctor's thesis. Kharkiv: NTU «KPI» (in Ukrainian).

3. Kalchenko, V.V. (2005). *Modulne 3D modelyuvannya formoutvoryuyuchykh system shlifovalnykh verstativ, instrumentiv ta obroblyvanykh poverhon [Modular 3D modeling formative systems of grinding machines, tools and machined surfaces]*. *Visnyk Ternopilskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Journal of Ternopil State Technological University*, vol. 12, pp. 68–79 (in Ukrainian).

4. Saturn. *Tortsevoe shlifovanie sparennymi shlifovalnymi krugami: [Zhurnal dlia klientov firmy «Junkermaschinen»] [Saturn. Mechanical grinding paired grinding wheels [Customer magazine company «Junkermaschinen»]]* (2005). ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. Nordrash, Germany (in Russian).

5. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Rudyk, A.V., Venzheha, V.I. (2006). *Doslidzhennia protsesu odnoprokhidnoho dvostoronnoho shlifuvannia [Investigation of single-pass bilateral grinding]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, issue 28, pp. 35–44 (in Ukrainian).

6. Kalchenko, V.V., Pasov, H.V. (1999). *Formoutvorennia ne obertaiuchykhstia pry obrobtsti tsylindrychnykh detalei profilovanykh i oriientovanykh kruhamy [Shaping is not rotating in the processing of cylindrical parts shaped and oriented circles]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 9, pp. 11–17 (in Ukrainian).

7. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Veremei, G.A., Slednikova, E.S. (2015). *Modulnoe 3D-modelirovanie instrumentov protsesa sema pripuska i formoobrazovaniia pri rastachivaniі sedel klapanov oriientirovanoi plastinkoi [Modular 3D-modeling tools, process, stock removal and forming in boring valve seats oriented plate]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2 (78), pp. 51–60 (in Russian).

8. Kalchenko, V.I. & Kalchenko, D.V. (2013). *Modulne 3D-modelyuvannya instrumentiv, procesu znyattya pryprusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi shreshhenymy osyamy stupinchastogo vala i kruga [Modular 3D-modeling tools, process of removal allowance and forming in grinding with crossed axes stepped shaft and wheel]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 3, pp. 91–99 (in Ukrainian).

9. Kalchenko, V.I., Sliednikova, O.S., Kalchenko, D.V. (2015). 3D-modeliuvannya instrumentiv, protsesu zniattia pryvysku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy torovoi poverkhni i kruha [3D-modeling tools, process and removal allowance forming in grinding with crossed axes and circular torus surface]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (2), pp. 31–38 (in Ukrainian).

10. Kalchenko, V.I., Kalchenko, D.V., Sliednikova, O.S. (2015). Modulne 3D-modeliuvannya instrumentiv, protsesu zniattia pryvysku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy rozpodilchoho vala i kruha [Modular 3D-modeling tools, process and removal allowance forming in grinding with crossed axes and circular distribution shaft]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting & tool in technological system*, issue 85, pp. 98–106 (in Ukrainian).

11. Sliednikova, O.S., Kal'chenko, D.V. (2015). *Sposib dvostoronnoho shlifuvannya tortsiv nekruglykh detalei [Method bilateral ends noncircular grinding parts]*. Pat. №99707 Ukraina, MPK V24V7/17 (in Ukrainian).

12. Kalchenko, V.I., Muzychka, D.H., Kalchenko D.V., Sliednikova O.S. (2015). *Sposib shlifuvannya tortsiv priamokutnykh neperetochuvanykh plastyn oriietovanykh kruhom [The method of polishing the ends of the rectangular plates oriented around neperetochuvanyh]*. Pat. №99832 Ukraina, MPK V24V5/00 (in Ukrainian).

13. Kalchenko, V.I., Muzychka, D.H., Kalchenko, D.V., Sliednikova, O.S. (2015). *Sposib shlifuvannya tortsiv neperetochuvanykh plastyn z prjamokutnym profilem [The method of grinding ends neperetochuvanyh plates with square profile]*. Pat. №97946 Ukraina, MPK V24V7/00 (in Ukrainian).

14. Kalchenko, V.I., Sliednikova, O.S., Kalchenko, D.V., Muzychka, D.H. (2014). 3D-modeliuvannya instrumentiv ta formoutvorennia pry shlifuvanni tortsiv neperetochuvanykh prkamokutnykh plastyn oriietovanykh kruhom [3D-modeling tools and forming the grinding ends neperetochuvanyh rectangular plates oriented around]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2 (73), pp. 55–62 (in Ukrainian).

Следнікова Олена Сергіївна – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Следникова Елена Сергеевна – аспірант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Sliednikova Olena – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: s_lena_s@bigmir.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5444-1747>

ResearcherID: N-4430-2015

Олег Шаповалов, Денис Колесник, Олексій Журахов, Геннадій Болотов
**КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ БРОНЕМАШИН
ІЗ КОЛІСНОЮ ФОРМУЛОЮ 4×4**

Oleg Shapovalov, Denis Kolesnik, Aleksey Zhurakhov, Gennadiy Bolotov
**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ БРОНЕМАШИН
С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 4×4**

Oleg Shapovalov, Denis Kolesnik, Oleksyi Zhurakhov, Gennadyi Bolotov
**STRUCTURAL FEATURES OF THE MODERN RESERVED MACHINES WITH
THE WHEELED FORMULA 4×4**

Наведено історію розвитку легких колісних бронемашин. Проаналізовано технічні та конструктивні рішення, застосовані у сучасних машинах, та узагальнено основні вимоги до перспективних легких броньованих платформ.

Ключові слова: броньовані автомобілі, легкі броньовані платформи, конструктивні особливості, вимоги до перспективних зразків.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 8.

Приведена история развития легких колесных бронемашин. Проанализированы технические и конструктивные решения, используемые в современных машинах и обобщены основные требования к перспективным легким бронированным платформам.

Ключевые слова: броньованные автомобили, легкие бронированные платформы, конструктивные особенности, требования к перспективным образцам.

Рис.: 6. Табл.: 1. Библ.: 8.

History over of development of the easy wheeled reserved machines is brought. The technical and structural decisions used in modern machines and the basic requirements are generalized to the perspective lungs to the reserved platforms are analysed.

Key words: the armored cars, easy reserved platforms, structural features, requirements to the perspective standards.

Fig.: 6. Tab.: 1. Bibl.: 8.

Вступ. Перші бронемашини з'явилися під час Першої світової війни 1914–1918 років. Їх створення було спрямовано в першу чергу на забезпечення високої мобільності вогневої точки і збереження життя екіпажу.

У 1914–1930 роках розробники броньованих автомобілів майже завжди застосовували у кращому разі посилені шасі серійних легкових і вантажних автомобілів. На них ставили масивний броньовані корпус, зброю, боезапас, збільшені паливні баки. Звичайно ж, перевантаження ходової частини позначалося на тягово-швидкісних властивостях, економічності і надійності. Броньовики помітно поступалися базовим автомашинам. Обпікшись на помилках, у 30-х роках конструктори стали вносити у базові агрегати і системи істотні зміни, а то і створювали їх наново. Але не втрачали часу і танкобудівники. У цей же період вони розробили гусеничні бойові машини, які за вогневою потужністю і прохідністю перевершували навіть кращі моделі броньовиків. А потім виявилася ще одна обставина.

Друга світова війна носила високоманеврений характер, майже в усіх операціях брали участь танкові підрозділи, що тісно взаємодіють з піхотою. Проте на звичайних вантажівках доставити бійців безпосередньо на поле бою не було можливості – прохідність колісних машин не дозволяла їм пересуватися безпосередньо за танками по пересіченій місцевості. Та й солдати, що знаходилися у відкритих кузовах не були захищені від вогню супротивника. Десантування піхоти на броні танків не вирішувало проблеми з тієї ж причини, а броньовики виявилися недостатньо місткими. У середині їх тісних корпусів насилу поміщався екіпаж. Арміям знадобилася бойова машина, здатна перевозити бійців під захистом броні. Такі машини з'явилися одразу в декількох країнах, і відтоді мотострільці ходили у бій на так званих бронетранспортерах (БТР), що рухалися слідом за танками. Досягнувши рубежу спішування (поблизу ворожих позицій), вони висаджувалися й атакували ворога під прикриттям бортової зброї транспортерів і танкових гармат. Після Другої світової війни виробництво бронемашин пішло на спад у зв'язку зі зростаючим виробництвом БТР. Але виробництво бронемашин не припинялося, не припинялося і їх конструювання

[1]. З появою зброї масового ураження корпус бронемашин став закритого типу та герметичним (за допомогою встановлення фільтровентиляційних установок).

Головною відмінністю бронемашин та легких броньованих платформ (ЛБП) від БТР є їх призначення, яке полягає у тому, що вони призначені для виявлення і знищення противника вогнем з бортового озброєння. Як правило, за основу майбутньої бронемашини сьогодні береться вдало сконструйоване та зарекомендоване позитивно багаторічною експлуатацією шасі всюдихідного вантажного автомобіля, яке в подальшому підсилюється, оснащується більш потужним двигуном, бронєю та озброєнням (кулеметним, гарматним, а останнім часом ще й ракетним).

Постановка проблеми. Характер локальних війн та збройних конфліктів останніх десятиліть сформував новий підхід до конструктивного вигляду бронетехніки – як бойової, так і багатоцільової [2]. Легкоброньовані платформи нині використовуються більш ніж у 60 сучасних арміях світу. Деякі держави, навіть за наявності власних розробок, закуповують найбільш перспективні зразки. Як свідчить зарубіжний і вітчизняний досвід створення колісної бронетехніки, розробники бронемашин та ЛБП прагнуть до того, щоб вони були універсальними (здатними вести як бойові дії, розвідку, так і виконувати широке коло спеціальних завдань), мали надійну прогресивну конструкцію і комплектацію з можливістю розміщення засобів розвідки і поразки, мали високу мобільність і захищеність (від стрілецької зброї, мін і саморобних вибухових пристроїв (фугасів) та осколків). Удосконалення бронемашин та ЛБП йде шляхом пошуку нових компоновальних рішень, автоматизації процесів управління вогнем, захистом, рухом, підвищення живучості і автономності, поліпшення ергономіки, впровадження в конструкцію зразків бронемашин елементів штучного інтелекту. Достатньо придивитися до загального вигляду перших екземплярів бронемашин із колісною формулою 4x4 початку ХХ століття та сучасних бронемашин, щоб зрозуміти, яку вони пройшли бурхливу еволюцію, як змінилися до них вимоги, що висувуються (рис. 1). Парк бронемашин та ЛБП з колісною формулою 4x4 (загальною масою 5...12 т) нині становить приблизно 25...35 % від загальної чисельності бронетехніки сучасних армій (США, Франції, ФРН, Ізраїлю, ПАР та ін.) [3].



Рис. 1. Еволюція колісних бронемашин 4x4: а – «Русский Остин» («Руссо-Балт», Росія 1920 р.); б – «Тритон-01» («ПАТ «Завод «Ленінська кузня», Україна 2015 р.)

Збройні конфлікти в Афганістані та Іраку (1979–2000) показали низьку ефективність підрозділів, що діють на легкій і слабоозброєній бронетехніці [4]. Водночас швидке перекидання повітрям гусеничної техніки або важких танків у зони конфліктів ускладнене, в першу чергу, їх ваговими характеристиками. Країни, що постійно беруть участь у військових і миротворчих операціях, все більше схиляються до висновків, що важкі танки та БТР мають бути замінені на колісні бронемашини, які б легко транспортувалися повітрям або морем, але за вогневою потужністю не поступалися танкам. Нині спостерігається інтенсифікація досліджень у галузі створення легких бронемашин з високою вогневою по-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тужністю як на колісному, так і гусеничному ході. Проте реалізація цих вимог пов'язана зі значними технічними проблемами і, як наслідок, підвищенням вартості зразка.

Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є створення сімейств бронемашин на єдиних вузлах і агрегатах. При цьому під поняттям «сімейство» розуміється розвиток базового зразка у напрямку підвищення його можливостей по вантажопідйомності і монтажним характеристикам зі збереженням технічних параметрів базової моделі. В цьому випадку вирішується в першу чергу економічне завдання – знижуються витрати на розроблення, виробництво і експлуатацію. Таким шляхом йдуть багато провідних країн світу, що займаються розробленням і виробництвом бронемашин.

Одними з перших варіантів сучасних бронемашин, що стояли на озброєнні збройних сил СРСР, були бойові розвідувально-дозорні машини БРДМ-1 та БРДМ-2, розробки 1957 та 1963 років відповідно, які прийшли на заміну застарілих БТР-40 та БТР-152, та були результатом вдалої спроби механізації ЗС СРСР у відповідь на появу загрози застосування противником засобів масового ураження (ЗМУ). У подальшому у під час розроблення бронемашин та визначенні їх конструктивного обліку вплив ЗМУ на тактичному рівні вже не був вирішальним. Тому проводилися роботи з підвищення протиккульного та протимінного захисту, удосконалення систем життєзабезпечення, спостереження, радіозв'язку, навігації та переозброєння на більш сучасні системи та комплекси захисту (пасивного та активного).

Величина пасивного броньового захисту, що забезпечує бронемашина розміщеному всередині неї екіпажу та десанту, є основним чинником здатності виконати завдання за призначенням. Якщо бронемашина призначена для виконання завдань щодо охорони тилових районів, їй досить захисту тільки від вогню стрілецької зброї калібром 7,62 мм. Коло поставлених завдань та призначення зразка безпосередньо впливає на ступінь захищеності бронемашини. У випадку посилення ступеня захисту (встановлення додаткової броні) коло завдань розширюється. Підвищення захисту бронемашини впливає на збільшення її маси, але при цьому не повинна знижуватись мобільність.

Бронемашини розробки колишнього СРСР виявилися не повною мірою пристосованими для застосування в сучасних локальних конфліктах кінця ХХ – початку ХХІ ст. Слабкий протимінний захист, а також недостатній захист від куль стрілецької зброї з малих дистанцій часто призводив до того, що десант пересувався не всередині бронемашин, а ззовні для зниження ризику бути ураженим у випадку підриву бронемашини на фугасі, розуміння навколишньої ситуації, швидкості спішування. Отже, виконання часткової модернізації наявного парку ЛБП, які перебували на той час на озброєнні, не повною мірою вирішувало цю проблему.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз технічних та конструктивних рішень, які використовуються у сучасних ЛБП та визначення основних вимог до перспективних бронемашин.

Викладення основного матеріалу. Наприкінці ХХ століття, коли арміям провідних зарубіжних країн була нав'язана тактика партизанської війни (атак із засідок, з широким застосуванням мін та фугасів), як, наприклад, в Афганістані та Іраку, з'явилася нова концепція конструкції бронемашин – «M.R.A.P.».

MRAP (англ.: Mine resistant ambush protected – захищений від підриву і атак із засідок, міностійкий, засідкозахищений) – колісні бронемашини з посиленим протимінним захистом. Поняття «MRAP» веде свій початок з назви програми американського корпусу морської піхоти, розпочатої у 2006 році під час війни в Іраку.

Якщо детально придивитися до новітньої розробки американських конструкторів бронемашини MRAP Oshkosh L-ATV, то в порівнянні з існуючим HMMWV (Humvee) можливо констатувати таке (рис. 2):

– збільшені габарити бронемашини як по висоті, так і за іншими параметрами. І це усе для чотирьох членів екіпажа. У процесі розроблення вже закладається можливість

здійснювати модернізацію як по збільшенню стійкості броні, так і по розміщенню різних пристосувань, від систем радіоелектронної боротьби (РЕБ) для захисту від керованих по радіо детонаторів до систем зв'язку і спостереження;

– великий кліренс, а в сукупності з V-подібним, зі збільшеною стійкістю, днищем, дозволяє бронемашині ефективніше захистити екіпаж від дії фугасів, встановлених у ґрунті;

– незалежна підвіска, з великим ходом, дозволяє автомобілю не лише долати різні перешкоди, а й забезпечує відносний комфорт членам екіпажу;

– компоновання бронемашини виконане так, що броньована капсула знаходиться у базі автомобіля, що дозволяє забезпечити додатковий захист екіпажа від дії фугасів під час руху по дорогах.



Рис. 2. Бронемашини HMMWV (Humvee) і MRAP Oshkosh L-ATV

Аналіз технічних та конструктивних рішень, які використовуються під час створення сучасних ЛБП. Колісні бронемашини у більшості армій світу використовуються для ведення військової розвідки, як транспортний засіб для доставки піхоти на рубіж спішування, евакуації поранених, перевезення вантажів та встановлення різноманітного озброєння, зв'язку та спеціального обладнання.

Тому головними вимогами для них є: підвищена живучість, застосування відповідного озброєння і спеціального обладнання, висока мобільність, авіатранспортабельність, плавучість, підвищена автономність, понижені демаскуючі ознаки і багато інших.

Колісні ЛБП мають колісний рушій, в якому широко використовуються вузли і механізми серійних вантажних і легкових автомобілів підвищеної прохідності. Всюдихідність таких машин значно підвищена використанням різних типорозмірів шин та двигунів значної потужності і нині наближається до прохідності гусеничних ЛБП.

Оскільки, як вже було зазначено вище, за основу під час проектування колісних бойових машин приймається конструктивна база всюдихідних автомобілів, то і компоновка таких машин також у більшій частині відповідає автомобільній [4]. При такій компоновці відділення управління і моторно-трансмісійне відділення розташовуються в передній частині машини. За ними розташовується відділення бойового управління, де знаходяться командир і навідник-оператор або стрілок-кулеметник (залежно від виду встановленого на ЛБП озброєння). У задній частині ЛБП розташовується відділення, де розміщується десант або інші штатні члени екіпажу. Значно рідше використовується танкова компоновка, при якій силова установка з трансмісією розташовуються в задній частині машини. В такому випадку для економії об'єму заброньованого простору двигун доцільно встановлювати впоперек корпусу.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Ще рідше використовується компоновальна схема з розташуванням силового (моторно-трансмісійного) відділення посередині корпусу, між бойовим і десантним відділеннями, при цьому ускладнюється обслуговування і ремонт силової установки, оскільки обмежується доступ для її монтажу і демонтажу.

ЛБП, як правило, мають повністю закритий зварний броньований несучий корпус, що забезпечує захист екіпажа, десанту та обладнання від ураження стрілецькою зброєю та протипіхотних мін. У переважній більшості машин для захисту використовується сталевая броня товщиною 6–10 мм, що забезпечує захист від куль стрілецької зброї калібру 7,62 мм і осколків снарядів та мін. Останнім часом на деяких машинах встановлюється багат шарова алюмінієва броня товщиною 30–38 мм. Однак аналіз характеристик захищеності і вагових показників цих машин показує, що алюмінієве бронювання поки не надає помітних переваг перед сталевим.

Для підвищення захищеності лобові листи корпусу встановлюються під великими кутами нахилу :

- нижній лобовий лист – під кутом $(45 \dots 60)^\circ$ відносно вертикалі;
- верхній лобовий лист – $(60 \dots 80)^\circ$, що дозволяє забезпечувати захист від куль калібру 12,7 мм.

Ці вимоги є обов'язковими для бойових машин переднього краю та розвідувально-дозорних машин, які можуть вступати у прямий вогневий контакт із противником (рис. 3, а, б). На машинах другого ешелону, призначених для перевезення піхоти та вантажу в тилі районах або доставки їх до переднього краю, броньований корпус може бути більш класичної автомобільної форми (рис. 4, а, б) [5; 6].



Рис. 3. Конструктивна форма броньованого корпусу бойових розвідувально-дозорних машин БРДМ-2 (СРСР) (а) та Драгун (США) (б)



Рис. 4. Характерна форма броньованого корпусу бойових машин другого ешелону Дінго (Германія) (а) та Івеко (Італія) (б)

На багатьох машинах у передній частині корпусу є куленепробивне скло, яке надає можливість спостереження передньої напівсфери та при цьому забезпечує захист на рівні броні. Більшість сучасних бронемашин, таких як «Кондор», «Кобра», BOV-VP, RH ALAN, мають корпус спеціальної конструкції, що підвищує захист від протитанкових мін.

Конструктивні заходи щодо протимінного захисту забезпечуються такими критеріями (рис. 5):

- бокові сторони корпусу бронемашини в районі ходової частини злегка нахилені для зменшення направлення ударної хвилі вибуху (1);
- днище зміцнене з урахуванням можливих деформацій, руйнувань (2);
- подвійна конструкція днища дозволяє уникнути відшарування матеріалів (3);
- сидіння прикріплені до даху бронемашини, таким чином машина виступає в ролі амортизатора і нанесення можливої шкоди зведено до мінімуму (4);
- місце зварювання ходової частини укріплено ребрами, за прикладом люків у даху (5);
- дефлектори днища збільшують опір та зменшують вплив ударної хвилі (6);
- всі об'єкти, які можуть постраждати від вибуху, повністю ізольовані від днища (7);
- особовий склад розташовується в бронемашині, не торкаючись ногами підлоги (8);
- чим вище від ґрунту, тим слабше буде вплив вибуху на днище (9).



Рис. 5. Схематичне зображення критеріїв протимінного захисту високого рівня

Важливу роль у забезпеченні захищеності бойової машини має її скритність, яка визначається висотою силуету. Нині проектувальники бронетехніки, у т. ч. і ЛБП, прагнуть обмежувати висоту машин. Найбільш характерний діапазон висот таких бронемашин становить 2000–2400 мм по даху корпусу.

Також живучість броньованих машин значною мірою визначається їх мобільністю (таблиця). З метою підвищення прохідності на більшості машин використовують широкопрофільні шини низького тиску. На багатьох машинах, у першу чергу, розвідувальних, є централізована система регулювання тиску в шинах. На багатьох машин («Пума», Фіат-6614, Фіат-6616) використовують низькопрофільні шини, які дозволяють продовжувати рух навіть при їх багатократному прострелі на відстань до 50–100 км.

Висока прохідність машин забезпечується також широким застосуванням економічних дизельних двигунів. Бензинові двигуни застосовуються дуже обмежено. Найбільш характерні значення питомої потужності для даних ЛБП становлять 20–32 к.с./т і лише для найбільш легких машин («Комбат», НММВ) значення цього показника перевищують 40 к.с./т. Найбільш характерні значення запасу ходу для колісних ЛБП становлять 700–1000 км.

Слід відзначити, що переважна більшість колісних ЛБП, які знаходяться на озброєнні країн НАТО, не мають плавучості. Можливо, це пов'язано з широким розвитком транспортних комунікацій у країнах Європи і, відповідно, наявністю значної кількості стаціонарних переправ через водні перешкоди.

Мобільність бронемашин

Модель	Двигун		Питома потужність л.с./т	Маса, т	Плавучість	Запас ходу, км
	Дизельний	Бензиновий				
Фокс		+	30,4	6,4	+	440
АРЕ		+	22,1	14,5	+	800
МРС/LBV	+		25,0	9,6	-	800
Фіат-6614 (6616)	+		20,0	8,0	+	750
РАМ-2000	+		22,8	5,8	-	800
БРДМ-2		+	20,0	7,0	-	750
НММWV	+		44,7	3,4	-	560
ИГЛ	+		31,4	5,1	-	450
ЕЕ-3 «Жарарака»	+		20,6	5,8	-	700
Валькірія	+		16,6	8,2	-	700
Сімба	+		18,8	11,2	-	660
Кондор	+		13,5	12,4	+	900
ТМ-170		+	20,7	11,6	+	870
Пума	+		32,7	5,5	-	800
Водник	+		24,3	7,0	-	1000
VAB	+		17,0	13,0	+	1000
VXB			13,4	12,7	+	750
Чеймит	+	+	28,8	7,3	+	1050
ASV-150	+		19,4	13,4	+	700
BOV-VP	+		15,9	9,4	-	500
BLR	+		17,5	12,0	-	580
Кобра	+		31,7	6,0	-	500

Узагальнений аналіз основних вимог до перспективної ЛБП. Аналіз складу і напрямків застосування сучасних, бронемашин, показав, що перспективна ЛБП повинна забезпечувати рішення наступних основних завдань:

- виявлення супротивника в районі його розташування і на марші;
- визначення координат об'єктів, окремих цілей, сил та засобів супротивника вдень і вночі за будь-яких метеоумов;
- виявлення ЗМУ, а також виявлення зон радіоактивного, хімічного і бактеріологічного зараження;
- передачу інформації по засекречених каналах радіозв'язку.

ЛБП повинна мати достатню балістичну і протимінну стійкість для захисту екіпажу і внутрішнього обладнання (ця сукупність вимог до бронемашин є основною). Нині кругова балістична захищеність ЛБП, які перебувають на озброєнні багатьох країн світу, досягає рівня 2 за стандартом НАТО (Stanag – 4269), а протимінна – рівнів 2а, 2б. Тому в перспективній ЛБП має бути передбачена можливість підвищення рівня кругової захищеності – до рівня 3, а протимінної захищеності – до рівнів 3а, 3б. Внутрішній простір розвідувальної машини має бути захищений від потоку вторинних осколків під час обстрілу машини і виконаний з матеріалів і покриттів, які не підтримують горіння.

З урахуванням вищенаведеного аналізу застосування бронемашин та ЛБП за призначенням можливо констатувати, що перспективна ЛБП повинна мати:

- високі мобільні характеристики (за рахунок застосування нових сучасних потужніших і економічних двигунів, у тому числі гібридних);
- повнопривідну схему ходової частини з незалежною пневмогідравлічною підвіскою і можливістю управління кліренсом машини з місця водія;
- централізовану систему підкачування шин для забезпечення зниження питомого тиску на ґрунт з різною щільністю;

- конструкцію коліс, яка забезпечує рух машини на пробитих шинах зі швидкістю руху та дистанцію, що забезпечує безпечну евакуацію екіпажу та десанту з зони ураження;
- запас ходу до 700–1000 км (залежно від об'ємів паливних баків);
- можливість подолання водних перешкод з мінімальним часом на попередню підготовку, зі швидкістю подолання водної перешкоди до 10 км/год.
- задовільну авіатранспортабельність;
- потужне озброєння для стримування сил супротивника при відступі, або його повного знищення при проведенні диверсійної операції, контратак тощо з достатнім боезапасом, яке також повинно мати прицільно-спостережний комплекс з денним і нічним каналами, стабілізацією в двох площинах, автоматичним супроводом цілі [8].

Залежно від виконуваних завдань ЛБП можуть діяти як окремо, так і об'єднуватися у групи з іншими типами машин, утворюючи ударні підрозділи [5]. У перспективних бронемашин під час проведення спільних операцій має бути передбачена можливість заміни бойового модуля з одного типу на інший.

Сучасні ЛБП оснащені численними споживачами електричної енергії, які повинні функціонувати як у русі, так і під час стоянки. У зв'язку з цим машина повинна мати достатню потужну систему електропостачання усіх споживачів. Крім основної системи електропостачання, працюючої від основного двигуна, у складі ЛБП має бути передбачене аварійне джерело живлення, яке повинне забезпечувати електроживленням усі системи машини при непрацюючому основному двигуні.

Під час виконання поставленого завдання рух ЛБП може здійснюватися по незначній місцевості, і як наслідок, вірогідні випадки застрягання і посадки на днище. У зв'язку з цим перспективна ЛБП повинна мати лебідку (дві лебідки) з блоком поліспасту для самовитягування з напрямом видачі троса на ніс і на корму машини. Крім цього, в укладці машини має бути передбачений гідродомкрат.

ЛБП повинна оснащуватись обладнанням хімічної, бактеріологічної та радіаційної розвідки для своєчасної ідентифікації хімічних отруйних речовин, бактеріологічної зброї і радіоактивного зараження на місцевості. Це обладнання повинно мати високу швидкодію виявлення і сповіщення членів екіпажу, а також засоби перешкоди проникненню зараженого повітря у відділення машини завдяки створенню надмірного тиску всередині корпусу. Вживання ЛБП, навіть у випадках її виявлення противником, є однією зі складових успішного виконання бойового завдання, тому у складі машини має бути забезпечена постановка димових завіс.

У випадку якщо декілька однотипних машин виконують бойові завдання в одному районі, спільно або незалежно одна від одної, для однозначної ідентифікації союзників перспективна ЛБП у своєму складі повинна мати систему розпізнавання «свій-чужий».

Силова установка ЛБП повинна мати високоефективну систему випуску, яка одночасно зі зниженням шуму, повинна виконувати функцію зниження температури вихідних газів основного двигуна, забезпечуючи тим самим зниження інфрачервоної помітності машини.

Відповідні забарвлення і технічні заходи, що виконані на бронемашині, повинні значно знижувати помітність ЛБП у видимому, тепловому, інфрачервоному і радіолокаційному діапазонах. Усі склопакети повинні мати антиблікові покриття.

ЛБП повинна обов'язково бути обладнана стаціонарними і переносними засобами зв'язку. У ході рейдових дій бронегрупа повинна підтримувати радіозв'язок з Центром, артилерійськими підрозділами підтримки, авіацією та резервом [2]. Як стаціонарні засоби зв'язку повинні використовуватися не менше двох УКВ і одна КВ радіостанції, а також апаратура супутникового зв'язку. Дальність зв'язку радіостанцій має бути не менше 100 км (для УКВ) і 350 км (для КВ). На ЛБП повинні бути передбачені місця кріплення додаткових антен і комунікацій, що збільшують дальність дії радіостанцій ЛБП.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Якісна топографічна прив'язка як самої ЛБП, так і орієнтирів, повинна здійснюватися за допомогою системи навігації, яка повинна поєднувати стаціонарні супутникову (GPS) і інерційну (ING) системи визначення місця розташування. Також має бути передбачена апаратура, що дозволяє передавати графічну, звукову і відеоінформацію по закритому супутниковому каналу зв'язку [7].

Таким чином, у процесі проектування перспективної ЛБП повинні враховуватися вимоги до таких основних параметрів:

- потужність озброєння;
- ступень захищеності;
- мобільність;
- автономність;
- авіатранспортабельність;
- плавучість.

У складі ЛБП має бути передбачена наявність такого спеціального устаткування:

- засоби для самовитягування;
- система життєзабезпечення;
- система колективного захисту;
- система розпізнавання «свій-чужий»;
- система постановки завіси.

Виходячи зі специфіки завдань, виконуваних ЛБП, в її складі має бути таке розвідувальне устаткування:

- засоби маскування;
- стаціонарні розвідувальні засоби;
- засоби запису відеосигналів і акустичної інформації;
- переносні засоби спостереження й орієнтування;
- засоби зв'язку;
- засоби навігаційного забезпечення.

В Україні після розпаду СРСР залишилося багато підприємств, що займалися проблемою бронетехніки. Так, наприклад, на початку XXI століття існувало багато розробок типу «Вепр», «Степ» та інших, але до практичної реалізації дійшли тільки деякі розробники. Так, Харківське конструкторське бюро ім. Морозова розробило та виготовило цілком нову тактичну бойову колісну машину «Дозор-Б», яка в 2015 році на базі Державного науково-випробувального центру Збройних Сил України успішно пройшла Державні випробування та прийнята на озброєння Збройних Сил України (рис. 6). Після введення в дію Постанови Кабінету Міністрів України №245 2014 року, ще декілька підприємств проводили роботи зі створення бронемашин, таких як «Козак» і «Козак-2» (НВП Практика), «Барс-6» і «Барс-8» (Корпорація «Богдан»), а також розробка ПАТ «Завод «Ленінська кузня» – ЛБП «Тритон-01», який успішно був продемонстрований як перспективна бронемашинна на міжнародній виставці «Зброя та безпека 2015».

Визначимо остаточно переваги та недоліки бронеавтомобіля. Загалом, переваги можна сформулювати таким чином:

– відносно висока швидкість (швидкість більшості бронеавтомобілів перевищує 90–115 км/год, тоді як швидкість більшості танків у півтора рази менше, але з розвитком гусеничного рушія танків ця різниця може «згладитися»);

– дешевизна. Для отримання бронеавтомобіля достатньо покрити цивільний автомобіль сталевими листами достатньої товщини і встановити на ньому озброєння. І навіть бронеавтомобілі спеціальної будови значно дешевші за аналогічні за масою танки або БТР, зазвичай використовуючи багато вузлів цивільних машин;

– економічність та нижча маса машини вимагають менш потужного двигуна, також колісний рушій має менші механічні втрати під час руху, отже, у бронеавтомобіля ни-

жче витрата пального. Його ремонт (здебільшого) не відрізняється від ремонту звичайного автомобіля, що також спрощує його експлуатацію;

– надійність. За рахунок невеликої маси ЛБП їх двигун піддається меншим навантаженням; ресурс цього двигуна відносно високий, тоді як у танка або БТР все навпаки;

– переваги в миротворчих операціях (простота доставки в зону бойових дій). До того ж танк проявляє свої переваги тільки в масштабних боях, які в миротворчих операціях практично не використовуються.



а

б

Рис. 6. Сучасні ЛБП українських розробників – Барс-8 (а) та Дозор-Б (б)

Недоліками броневих автомобілів є:

– обмежена прохідність. Броневих автомобілів зазвичай забезпечені набагато досконалішими шасі, але все одно значно поступаються танкам та БТР у прохідності. Лише поява багатоосних шасі (колісна формула 6×6 та 8×8) із системою централізованого підкачування шин, колісними диференціалами, що блокуються, забезпечила броневих автомобілям прохідність практично на рівні танків;

– недостатня захищеність і озброєння. Є наслідком слабкого колісного шасі. Колісне шасі броневих автомобілів серйозно обмежує максимальне навантаження, що не дозволяє оснастити його потужним озброєнням і товстою бронею.

Висновки.

1. Легкоброньована платформа з колісною формулою 4x4 має конкретне, вузько-специфічне призначення у військах, переважно у вигляді штабних машин управління, машин зв'язку та розвідки, супроводу та однозначно не може собою замінити функції БТР з колісною формулою 8×8, що озброєні важким озброєнням.

2. Особливостями сучасних ЛБП, що розробляються, є: підвищена живучість, застосування відповідного озброєння, здатного боротися навіть з танками противника, застосування широкого спектра спеціального обладнання, висока мобільність, авіатранспортабельність, плавучість, підвищена автономність, поліпшені маскувальні ознаки.

Список використаних джерел

1. Шунков В. Н. Бронетехника. Справочное издание / В. Н. Шунков. – Минск : Попурри, 2004. – 752 с.

2. Аспекти развития легкобронированных разведывательных машин с колесной формулой 4×4 / В. В. Глебов, Е. В. Федоренко, Я. М. Мормило, И. И. Рассказов, М. А. Сядристый // Механіка та машинобудування. – 2010. – № 1. – С. 99–107.

3. Пять лет войны в Ираке [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tsiganok.ru/publications/esmi/doc/396>.

4. Бронетанковая техника мира : справочник / под ред. Н. Н. Новичкова. – М. : ИНТИРОСП, 2006. – 368 с.

5. Огоркевич Р. М. Бронированные разведывательные машины: нахождение правильного сочетания возможностей [Электронный ресурс] / Р. М. Огоркевич. – Режим доступа : bvtv.narod.ru/4/brmcap.htm.

6. Иванов О. Состояние и перспективы развития разведывательных машин зарубежных стран / О. Иванов, Д. Изюмо // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – № 2. – С. 22–29.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. «ARS 2000 Surveillance Radar» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.aselsan.com.tr/urun.asp?urunid=91&lang=en>.
8. “LN 100G GPS Integrated Inertial Navigation System (RLG-INS/GPS)” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.aselsan.com.tr/urun.asp?urunid=95&lang=en>.

References

1. Shunkov, V.N. (2004). *Bronetehnika. Spravochnoe izdanie [Armoured vehicles. Certificate edition]*. Minsk: Popurri (in Russian).
2. Glebov, V.V., Fedorenko, E.V., Mormilo, Ya.M., Rasskazov, I.I., Siadristyi, M.A. (2010). Aspekty razvitiia legkobronirovannykh razvedyvatelnykh mashin s kolesnoi formuloi 4×4 [Armoured scout vehicles development aspects with the wheel formula 4×4]. *Mekhanika ta mashinobuduvannia – Mechanics and engineer*, no. 1, pp. 99–107 (in Russian).
3. Piat let voyny v Irake [Five years of war in Iraq]. Retrieved from <http://www.tsiganok.ru/publications/esmi/doc/396>.
4. Novichkov, N.N. (ed.) (2006). *Bronetankovaia tekhnika mira [Armored technique of the world]*. Moscow: INTIROSP (in Russian).
5. Ogorkevich, R.M. *Bronirovannyye razvedyvatelnyye mashiny nakhozhenie pravilnogo sochetaniia vozmozhnostei [Reserved reconnaissance machines: being of correct combination of possibilities]*. Retrieved from bvt.narod.ru/4/brmcap.htm.
6. Ivanov, O., Iziurno, D. (2006). Sostoianie i perspektivy razvitiia razvedyvatelnykh mashin zarubezhnykh stran [State and prospects of development of reconnaissance machines of foreign countries]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie – Foreign Military Review*, no. 2, pp. 22–29 (in Russian).
7. «ARS 2000 Surveillance Radar». Retrieved from <http://www.aselsan.com.tr/urun.asp?urunid=91&lang=en>.
8. “LN 100G GPS Integrated Inertial Navigation System (RLG-INS/GPS)”. Retrieved from <http://www.aselsan.com.tr/urun.asp?urunid=95&lang=en>.

Шаповалов Олег Леонідович – начальник відділу, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрільська, 1, 14003, Чернігів, Україна).

Шаповалов Олег Леонидович – начальник отдела, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, 14003, Чернигов, Украина).

Shapovalov Oleg – Chief of Department, State Scientifically-proof-of-concept Center of Armed Forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: ak1149cv@ukr.net

Колесник Денис Миколайович – начальник відділення, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрільська, 1, 14003, Чернігів, Україна).

Колесник Денис Николаевич – начальник отделения, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, 14003, Чернигов, Украина).

Kolesnik Denis – Chief of Separation, State Scientifically-proof-of-concept Center of Armed Forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: denis1971@ukr.net

Журахов Олексій Васильович – старший науковий співробітник, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрільська, 1, 14003, Чернігів, Україна).

Журахов Алексей Васильевич – старший научный сотрудник, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, 14003, Чернигов, Украина).

Zhurakhov Oleksyi – Senior staff scientist, State Scientifically-proof-of-concept Center of Armed Forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: laos00000@gmail.com

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

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

Bolotov Gennadyi – Doctor of Technical Sciences, 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: bolotov49@mail.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0305-2917>

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 004.94:621.315.592

Анатолий Казаков, Геннадий Шаповалов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ СОСУЩЕСТВОВАНИЯ ФАЗ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Анатолий Казаков, Геннадий Шаповалов

МОДЕЛЮВАННЯ ОБЛАСТЕЙ СПІВІСНУВАННЯ ФАЗ У ТВЕРДИХ РОЗЧИНАХ $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Anatolii Kazakov, Hennadii Shapovalov

SIMULATION OF THE SPACES OF PHASE COEXISTENCE IN SOLID SOLUTIONS $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ WITH USING OF DIFFERENT THERMODYNAMIC MODELS

При определенных температурах и составах в многокомпонентных твердых растворах полупроводников возможно формирование модулированных периодических пространственных структур, что приводит к деградации свойств материалов и приборов, создаваемых на их основе. Проблемы прогнозирования свойств структурированных функциональных материалов нано- и микроэлектроники, имеющих оптимальные свойства для реализации практических задач, являются актуальными в настоящее время. Для твердых растворов $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ были рассчитаны области, в которых выполняются условия формирования пространств сосуществования фаз порядка два в рамках моделей строго регулярного раствора с учетом параметров взаимодействий первых двух координационных сфер, модели пострегулярного раствора и модели регулярного раствора с учетом взаимодействий атомов в первых трех координационных сферах, а также проведен сравнительный анализ полученных результатов моделирования.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, термодинамические модели, пространства сосуществования фаз, модулированные структуры, свободная энергия, устойчивость к дифференцированию.

Рис.: 3. Библ.: 15.

При певних температурах і складах у багатокомпонентних твердих розчинах напівпровідників можливе формування модульованих періодичних просторових структур, що призводить до деградації властивостей матеріалів і приладів, створених на їх основі. Проблеми прогнозування властивостей структуризованих функціональних матеріалів нано- і мікроелектроніки, що мають оптимальні властивості для реалізації практичних завдань, є нині актуальними. Для твердих розчинів $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ були розраховані області, в яких виконуються умови формування просторів співіснування фаз порядку два в рамках моделей строго регулярного розчину з урахуванням параметрів взаємодій перших двох координаційних сфер, моделі пострегулярного розчину і моделі регулярного розчину з урахуванням взаємодій атомів у перших трьох координаційних сферах, а також проведено порівняльний аналіз отриманих результатів моделювання.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, термодинамічні моделі, простори співіснування фаз, модульовані структури, вільна енергія, стійкість до диференціювання.

Рис.: 3. Бібл.: 15.

The formation of the modulated periodic spatial structures in multicomponent solid solutions of semiconductors, under certain temperature and composition is possible. This leads to a degradation of properties of materials and devices created on their basis. Problems of forecasting of properties of structured functional materials in nanoelectronics and microelectronics with optimal properties for practical tasks are relevant today. The areas fulfillment of the conditions of formation of the spaces of phase coexistence of the second order for solid solutions $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ were calculated. The calculations in the framework of the regular solution model is strictly within the parameters of interaction of the first two coordination spheres, the model of postregular solution and the regular solution the model, taking into account the interactions of atoms in the first three coordination areas have been executed. The comparative analysis of the simulation results was obtained.

Key words: computer simulation, thermodynamic models, of phase coexistence spaces, modulated structures, free energy, the differentiability.

Fig.: 3. Bibl.: 15.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою сучасної мікро- і наноелектроніки являються прогнозування властивостей матеріалів, використовуваних в сучасних оптоелектронних приладах. Для створення оптоелектронних пристроїв, що працюють в ши-

роком спектральному діапазону, перспективними являються багатокомпонентні напівпровідникові матеріали на основі сполучень типу A_3B_5 . Однак при певних умовах в багатокомпонентних твердих розчинах, отриманих на основі цих сполучень напівпровідників, можливо формування періодичних просторових структур, що може призвести до деградації властивостей оптичних пристроїв. При цьому для більш точного опису поведінки досліджуваних матеріалів виникає необхідність дослідження різних термодинамічних моделей, які дозволяють оптимально враховувати фізичні властивості досліджуваних напівпровідникових сполучень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати досліджень експериментальних складових епітаксціальних шарів, отриманих в роботах [1–5], показують можливість утворення модульованих періодичних структур в багатокомпонентних напівпровідникових матеріалах на основі твердого розчину $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$. Результати розрахунків [6] положень областей існування фаз порядку два, в яких можливо виникнення модульованих структур, в межах моделі строго регулярного розчину з урахуванням взаємодій атомів в перших двох координаційних сферах [7] знаходяться в задовільному відповідності з експериментальними даними [1–5]. Однак ряд експериментальних точок не потрапляє в розраховані області. Причиною може бути відсутність в моделі врахування концентраційних залежностей параметра взаємодії [8]. Крім того, дослідження [9–13] свідчать про утворення в процесі формування епітаксціальних шарів великих кластерообразних утворень ще в рідкій фазі, що вимагає при моделюванні врахування взаємодій між атомами не тільки в перших двох координаційних сферах, але і більш віддалених порядків.

Виділення нерешених раніше частин загальної проблеми. Проведено розрахунок положень областей існування фаз порядку два для твердого розчину $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ в межах термодинамічної моделі нерегулярного розчину і моделей, які враховують взаємодію між атомами різних порядків, а також проведено порівняльний аналіз моделювання в межах різних термодинамічних моделей, що не проводилося раніше.

Ціль статті. З метою аналізу перспектив використання різних термодинамічних моделей для прогнозування критичних явищ в багатокомпонентних твердих розчинах наведено результати розрахунків просторів існування фаз другого порядку. Розрахунки проводилися в межах моделей строго регулярного розчину, в якому передбачалося випадкове розподілення різноманітних атомів по вузлах відповідних підрешіток з урахуванням взаємодій атомів в двох найближчих координаційних сферах, нерегулярного розчину і запропонованої в роботі моделі регулярного розчину, який враховує взаємодію між атомами перших трьох координаційних сфер.

Изложение основного материала. Сучасні методи комп'ютерного моделювання дозволяють проводити аналіз моделей, побудованих на основі термодинамічного підходу і прогнозувати поведінку відповідних систем. Термодинамічні моделі, описувані потенціальними функціями, стійкими до диференціювання, дозволяють проаналізувати процеси виникнення самоорганізованих упорядкованих структур. Умови виникнення просторів існування фаз другого, третього і четвертого порядку, виражені через вищі похідні потенціалу Гіббса, відповідно, мають вигляд [14]:

$$\frac{dG}{dx} = \frac{d^2G}{dx^2} = \frac{d^3G}{dx^3} = 0 ; \quad \frac{d^4G}{dx^4} > 0, \quad (1)$$

$$\frac{dG}{dx} = \frac{d^2G}{dx^2} = \dots = \frac{d^5G}{dx^5} = 0 ; \quad \frac{d^6G}{dx^6} > 0, \quad (2)$$

$$\frac{dG}{dx} = \frac{d^2G}{dx^2} = \dots = \frac{d^7G}{dx^7} = 0 ; \frac{d^8G}{dx^8} > 0, \quad (3)$$

где $G(X_{AC}, X_{BC}, X_{AD}, X_{BD})$ – свободная энергия Гиббса, X_{ij} – концентрации бинарных компонентов.

В качестве исследуемого материала в работе рассматривался перспективный для оптоэлектроники твердый раствор $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$. Для построения областей сосуществования фаз был использован алгоритм, основанный на дифференциальном топологическом подходе, основные идеи которого описаны в работе [7]. Результаты расчетов пространств сосуществования фаз порядка два, полученные в рамках модели строго регулярного раствора для температуры 773 К, показаны на сечении существования твердых растворов диаграммы состояния системы $In - Ga - As - P$ на рис. 1.

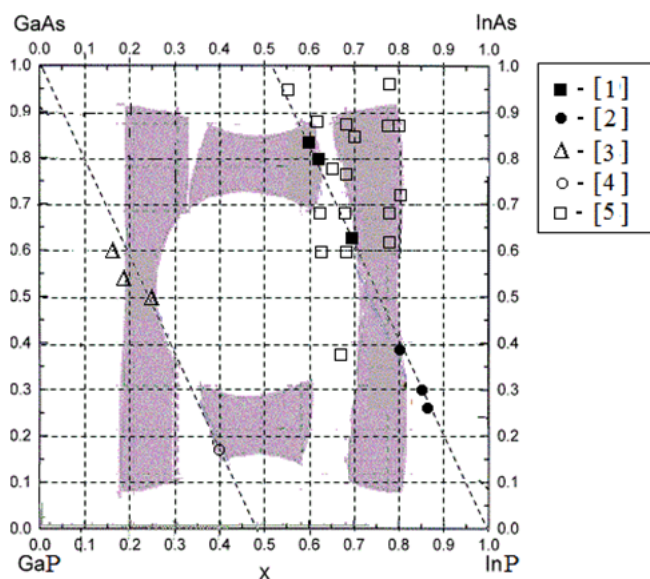


Рис. 1. Области выполнения условий формирования пространств сосуществования фаз порядка два на сечении существования твердых растворов диаграммы состояния системы $In - Ga - As - P$ (773 К), рассчитанные в рамках модели строго регулярного раствора

учитывающие в выражении свободной энергии концентрационные зависимости, более точно [8] описывают свойства многокомпонентных полупроводниковых растворов.

В работе была рассмотрена термодинамическая модель пострегулярного раствора, в которой учитывались концентрационные зависимости параметра взаимодействия в четырёхкомпонентных твёрдых растворах со смешением атомов в двух подрешётках $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$. В выражении для потенциала Гиббса учитывались взаимодействия между атомами первой и второй координационных сфер [6]. Концентрационные зависимости параметров взаимодействия аппроксимировались полиномом второй степени:

$$W(x) = W_1x + W_2(1-x) + W_3x(1-x), \quad (4)$$

где W_1 , W_2 и W_3 — аппроксимационные коэффициенты, полученные в данной работе. Для определения использовались экспериментальные и расчетные данные, приведенные в работах [1–5, 15]. Для твердого раствора $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ выражение (4) приводилось к виду:

Пунктиром показаны изопериодические линии для подложек из $GaAs$ и InP . Темным цветом показаны области выполнения условий формирования пространств сосуществования фаз порядка два, рассчитанные в рамках модели строго регулярного раствора.

Из рис. 1 видно, что большинство экспериментальных составов эпитаксиальных слоев, полученных в работах [1–5], в которых наблюдалось образование модулированных периодических структур, попадает в расчетные области сосуществования фаз порядка два, однако ряд точек находятся за границами рассчитанных областей. Причиной может служить то обстоятельство, что в модели строго регулярного раствора не учитываются концентрационные зависимости параметров взаимодействия. Термодинамические модели,

$$\begin{aligned}
 W_{InP-InAs}(X_{InP}, X_{InAs}) &= W_{InP-InAs}^1(X_{InP} + X_{InAs}) + W_{InP-InAs}^2(1 - X_{InP} - X_{InAs}) + \\
 &+ W_{InP-InAs}^3(X_{InP} + X_{InAs})(1 - X_{InP} - X_{InAs}), \\
 W_{GaAs-InAs}(X_{GaAs}, X_{InAs}) &= W_{GaAs-InAs}^1(X_{GaAs} + X_{InAs}) + W_{GaAs-InAs}^2(1 - X_{GaAs} - X_{InAs}) + \\
 &+ W_{GaAs-InAs}^3(X_{GaAs} + X_{InAs})(1 - X_{GaAs} - X_{InAs}), \\
 W_{GaP-InP}(X_{GaP}, X_{InP}) &= W_{GaP-InP}^1(X_{GaP} + X_{InP}) + W_{GaP-InP}^2(1 - X_{GaP} - X_{InP}) + \\
 &+ W_{GaP-InP}^3(X_{GaP} + X_{InP})(1 - X_{GaP} - X_{InP}), \\
 W_{GaP-GaAs}(X_{GaP}, X_{GaAs}) &= W_{GaP-GaAs}^1(X_{GaP} + X_{GaAs}) + W_{GaP-GaAs}^2(1 - X_{GaP} - X_{GaAs}) + \\
 &+ W_{GaP-GaAs}^3(X_{GaP} + X_{GaAs})(1 - X_{GaP} - X_{GaAs}).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Для расчета положений пространств сосуществования фаз согласно (1) – (3) были получены с учетом (5) аналитические выражения для полных производных свободной энергии Гиббса до восьмой производной включительно, численно определены и построены на сечениях существования твердых растворов диаграммы состояния системы In-Ga-As-P нулевые контура высших производных свободной энергии рассматриваемой системы с первой по восьмую включительно и пространства сосуществования фаз.

На рис. 2 показана рассчитанная область сосуществования фаз порядка два, полученная в рамках термодинамической модели с учетом концентрационных зависимостей параметров взаимодействия. Несмотря на то, что область более компактна, заметного улучшения в совпадении с экспериментальными данными по сравнению с результатами расчетов в рамках строго регулярного раствора, представленными на рис. 1, не наблюдается.

Такой результат может быть связан с тем, что в моделях, использованных выше, выражение для свободной энергии системы строилось с учетом взаимодействия атомов только в первой и второй координационных сферах. Однако исследования [9–13] свидетельствуют о том, что еще в жидкой фазе при выращивании кристалла наблюдаются возникновения более крупных кластероподобных структур, для учета влияния которых необходимо рассматривать взаимодействия между атомами более удаленных координационных сфер.

В работе было получение выражения свободной энергии четырехкомпонентной системы In – Ga – As – P, в которой учтено взаимодействие атомов как первых и вторых, так и третьих координационных сфер. Общее количество соседних атомов рассматриваемой системы с учетом первой, второй и третьей координационной сферы $z_3 = 36$. В выражении свободной энергии

$$G = -kT \ln \sum_{i=1}^3 \exp\left(-\frac{E^i}{kT}\right)
 \tag{6}$$

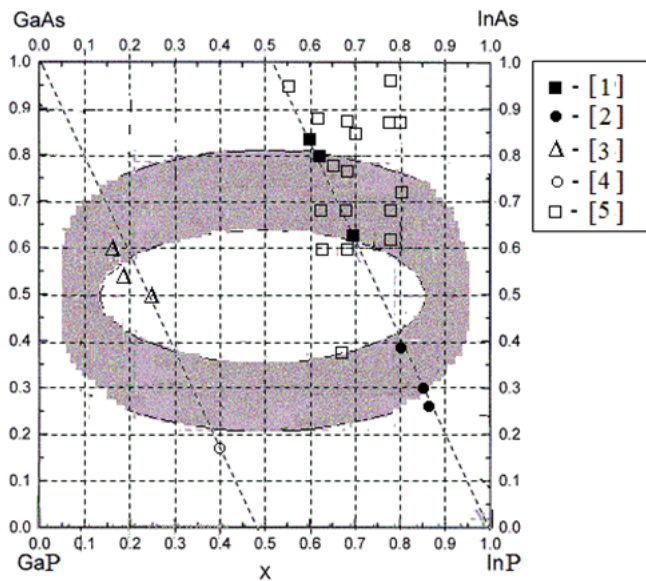


Рис. 2. Области выполнения условий формирования пространств сосуществования фаз порядка два на сечении существования твердых растворов диаграммы состояния системы In – Ga – As – P (773 K), рассчитанные в рамках модели пострегулярного раствора

полная потенциальная энергия E представлялась как сумма потенциальных энергий, обусловленных взаимодействием каждой из рассмотренных конфигураций:

$$E = E^1 + E^2 + E^3, \quad (7)$$

где E^1, E^2, E^3 – вклады, обусловленные взаимодействиями между атомами первой, второй и третьей координационными сферами соответственно.

Общие подходы к расчетам E^1 и E^2 были изложены в работе [6]. Для расчета E^3 было учтено, что при условии нахождения в центре атома А-типа, в третьей координационной сфере могут быть атомы С или D. Тогда, вклад E^3 можно представить в виде:

$$E^3 = w_{AC}^{CA} N_{ACAC} + w_{AC}^{DB} N_{ADBC} + w_{AD}^{CA} N_{ACAD} + w_{AD}^{DB} N_{ADBD} + w_{BC}^{CA} N_{BCAC} + w_{BC}^{DA} N_{BDAC} + w_{BD}^{CA} N_{BCAD} + w_{BD}^{DA} N_{BDAD}, \quad (8)$$

где w_{AC}^{CA} – энергия связи между центральным атомом А и атомом С, находящемся в третьей координационной сфере, при условии, что в первой сфере находится атом С, а во второй – атом А. Аналогично, w_{AC}^{DB}, w_{AD}^{CA} и т. д. – энергии связи между всеми остальными конфигурациями атомов. N_{ACAC} – количество ближайших пар атомов АС – АС при условии, что в центре находится атом А, в первой координационной сфере атом С, во второй – атом А и в третьей – С. N_{ADBC}, N_{ACAD} и т. д. – количество всех остальных соответствующих ближайших соседних пар атомов с учетом трех ближайших координационных сфер. Количество рассматриваемых пар можно найти через вероятность обнаружения соответствующих атомов первой, второй и третьей координационных сфер при фиксированном центральном атоме. Так, количество N_{ACAC} можно выразить через количество атомов N_A и вероятность P_{ACAC} обнаружения атомов С-А-С при фиксированном атоме А через соотношение $N_{ACAC} = z_3 N_A P_{ACAC}$. Вероятность такого события можно найти через вероятности обнаружения соответствующих пар атомов, как произведение вероятностей: $P_{ACAC} = P_{AC} P_{CA} P_{AC}$, которые связаны с количеством вторых ближайших соседних пар атомов соотношениями:

$$P_{AC} = \frac{N_{AC}}{N_{AC} + N_{AD}}. \quad (9)$$

Аналогично представлялись выражения для $N_{ADBC}, N_{ACAD}, N_{ADBD}$ и т. д.

Для моделирования пространств сосуществования фаз полное выражение (6) для свободной энергии рассматриваемой системы $In - Ga - As - P$ с учетом (7) и (8) было приведено к мольным долям $X_{AC}, X_{AD}, X_{BC}, X_{BD}$, связанными с концентрационными параметрами x, y соотношениями:

$$X_{AC} = (1-x)(1-y), \quad X_{AD} = (1-x)y, \quad X_{BC} = x(1-y), \quad X_{BD} = xy. \quad (10)$$

Полученное в результате выражение для свободной энергии с учетом (10) было исследовано на устойчивость к дифференцированию и получению матриц высших производных по концентрациям компонентов. Были получены аналитические выражения для полных высших производных свободной энергии и показано, что исследуемое выражение устойчиво к многократному дифференцированию и имеет невырожденные производные вплоть до восьмой включительно, что дает возможность использовать его для построения областей сосуществования фаз в рассматриваемых твердых растворах с использованием критериев (1) – (3). Аналитические выражения для производных свободной энергии четырехкомпонентного твердого раствора $In_x Ga_{1-x} As_y P_{1-y}$ по концентраци-

ям соответствующих компонентов были использованы для расчета положений нулевых контуров высших производных. Результаты расчетов нулевых контуров были использованы для определения пространств сосуществования фаз порядка два с применением алгоритма построения областей сосуществования фаз [7].

Результаты моделирования пространств сосуществования фаз порядка два, полученные в рамках модели строго регулярного раствора с учетом взаимодействий в третьей координационной сфере для температуры 773 К, показаны на сечении существования твердых растворов диаграммы состояния системы $In-Ga-As-P$ на рис. 3:

Выводы и рекомендации. В результате моделирования для случая учета взаимодействия между атомами первой, второй и третьей координационных сфер четырехкомпонентного твердого раствора $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ получено более точное по сравнению с расчетами в рамках строго регулярного раствора с учетом взаимодействий в первых двух координационных сферах и модели пострегулярного раствора совпадение рассчитанных областей с экспериментальными точками, в которых наблюдались упорядоченные структуры. Результаты позволяют предположить перспективность подхода, учитывающего в процессе моделирования взаимодействия между атомами первых трех координационных сфер для расчетов пространств сосуществования фаз более высоких порядков в полупроводниковых соединениях на основе A_3B_5 .

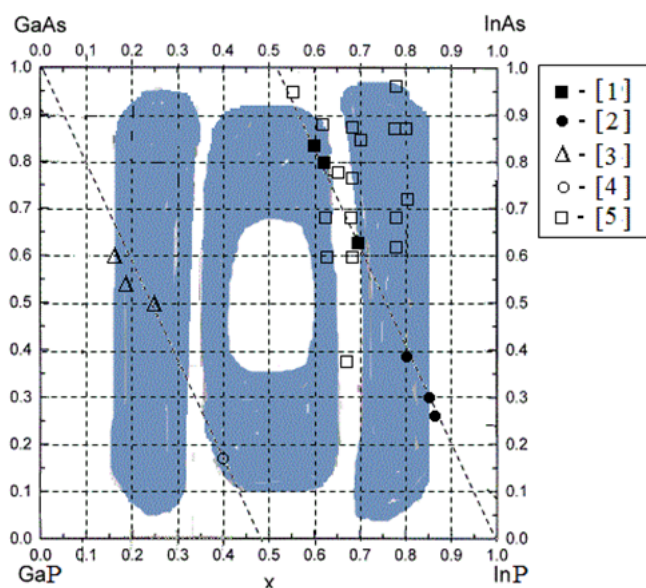


Рис. 3. Области выполнения условий формирования пространств сосуществования фаз порядка два на сечении существования твердых растворов диаграммы состояния системы $In-Ga-As-P$ (773 К), рассчитанные в рамках модели строго регулярного раствора с учетом взаимодействий атомов первой, второй и третьей координационных сфер

Список использованных источников

1. Henoc P. Composition modulation in liquid phase epitaxial $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ layers lattice matched to InP substrates / P. Henoc, A. Izrael, M. Quillec, H. Launois // Appl. Phys. Lett. – 1982. – Vol. 40. – Pp. 951–963.
2. Mahajan S. Spinodal decomposition in InGaAsP epitaxial layers / S. Mahajan, B. V. Dutt, H. Temkin and others // J. Crystal Growth. – 1984. – Vol. 68, № 2. – Pp. 589–595.
3. Kuwano N. Electron microscope study of modulated structures and heterointerfaces in LPE-grown GaInAsP layers lattice matched on GaAs / N. Kuwano, K. Funuka, Oki K. and others // J. Crystal Growth. – 1989. – Vol. 98. – Pp. 82–89.
4. Спонтанно формирующиеся периодические InGaAsP – структуры с модулированным составом / Л. С. Вавилова, В. А. Капитонов, А. В. Мурашева и др. // Физика и техника полупроводников. – 1999. – Т. 33, № 9. – С. 1108–1110.
5. Chu S. Surface layer spinodal decomposition in $In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P_y$ and $In_{1-x}Ga_xAs$ grown by hybrid transport vapor phase epitaxy. / S. Chu, S. Nakahara, K. Strege, W. Johnston // J. Appl. Phys. – 1985. – Vol. 57. – Pp. 4610–4616.
6. Казаков А. И. Компьютерное моделирование критических пространств сосуществования на фазовых диаграммах многокомпонентных твердых растворов / А. И. Казаков, Л. Т. Ква-ташидзе, Г. В. Шаповалов // Информатика и математические методы в моделировании – 2014. – Т. 4, №4. – С. 349–356.

7. Onabe K. Thermodynamics of the type $A_{1-x}B_xC_{1-y}D_y$, III-V quaternary solid solutions / K. Onabe // *J. Phys. Chem. Solids*. – 1982 – Vol. 43, № 11. – Pp. 1071–1086.
8. Подольская Н. И. Энергия смешения соединений $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ / Н. И. Подольская, С. Ю. Карпов, А. И. Жмакин // *Письма в журнал технической физики*. – 2008. – № 34 (9). – С. 17–23.
9. Notzel N. Semiconductor quantum-wire structures directly grown on high-index surfaces / R. Notzel, N.N. Ledentsov, L. Dawareitz and others // *Phys. Rev.* – B, 45, 1992. – Pp. 3507–3513.
10. Вращивание квантовых кластеров GaAs-AlAs на ориентированных не по (100) фасетированных поверхностях GaAs методом молекулярно-пучковой эпитаксии / Ж. И. Алфёров, А. Ю. Егоров, А. Е. Жуков, С. В. Иванов и др. // *ФТП*. – 1992. – № 26. – С. 1715–1719.
11. Gagis G. Novel materials GaInAsPSb/GaSb and GaInAsPSb/InAs for room-temperature optoelectronic devices for a 3-5 μ m wavelength range (GaInAsPSb/GaSb and GaInAsPSb/InAs for 3–5 μ m) / G.S. Gagis, V.I. Vasilev, A.G. Deryagin, V.V. Dudelev, A.S. Maslov, R.V. Levin, B.V. Pushnyi and others // *Semicond. Sci. Technol.*, 23, 2008. – Pp. 125026–125031.
12. Формирование тройных твердых растворов AIII BV на пластинах GaAs и GaSb за счет твердофазных реакций замещения / В. И. Васильев, Г. С. Гагис, В. И. Кучинский, В. Г. Данильченко // *Физика и техника полупроводников*. – 2015. – Т. 49, № 7. – С. 984–988.
13. Формирование массивов квантовых точек $Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ в процессе ионно-лучевого осаждения / И. А. Сысоев, М. Л. Лунина, Д. Л. Алфимова, А. В. Благин, Д. А. Гусев, Б. М. Середин // *Неорганические материалы*. – 2013. – Т. 50, № 2. – С. 1–7.
14. Okada K. Classical calculations on the phase transition I. Phase diagram in four-dimensional space for the system with one order parameter / K. Okada, I. Suzuki // *J. Phys. Soc. Jap.* – 1982. – Vol. 51, № 10. – Pp. 3250–3257.
15. Расчет фазовых равновесий в многокомпонентных системах / А. И. Казаков, В. А. Мокрицкий, В. Н. Романенко и др. – М. : *Металлургия*, 1987. – 136 с.

References

1. Henoc, P., Izrael, A., Quillec, M., Launois, H. (1982). Composition modulation in liquid phase epitaxial $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ layers lattice matched to InP substrates. *Appl. Phys. Lett.*, vol. 40, pp. 951–963.
2. Mahajan, S., Dutt, B.V., Temkin, H. et al. (1984). Spinodal decomposition in InGaAsP epitaxial layers. *J. Crystal Growth*, vol. 68, no. 2, pp. 589–595.
3. Kuwano, N., Funuka, K., Oki, K. et al. (1989). Electron microscope study of modulated structures and heterointerfaces in LPE-grown GaInAsP layers lattice matched on GaAs. *J. Crystal Growth*, vol. 98, pp. 82–89.
4. Vavilova, L.S. Kapitonov, V.A., Murasheva, A.V. et al. (1999). Spontaneously formed periodic InGaAsP structures with modulated structure [Spontaneously formed periodic InGaAsP – structure with modulated structure]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov – Physics and Technology of Semiconductor*, vol. 33, no. 9, pp. 1108–1110 (in Russian).
5. Chu, S., Nakahara, S., Stregge, K., Johnston, W. (1985). Surface layer spinodal decomposition in $In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P_y$ and $In_{1-x}Ga_xAs$ grown by hybrid transport vapor phase epitaxy. *J. Appl. Phys.*, vol. 57, pp. 4610–4616.
6. Kazakov, A.I., Kvatashidze, L.T., Shapovalov, G.V. (2014). Компьютерное моделирование критических пространств сосуществования на фазовых диаграммах многокомпонентных твердых растворов [Computer simulation for the phase coexistence spaces formation in quaternary semiconductor alloys]. *Informatika i matematicheskie metody v modelirovanii – Computer and mathematical methods for modeling*, vol. 4, no. 4, pp. 349–356 (in Russian).
7. Onabe K. (1982). Thermodynamics of the type $A_{1-x}B_xC_{1-y}D_y$, III-V quaternary solid solutions. *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 43, no. 11, pp. 1071–1086.
8. Podolskaia, N.I., Karpov, S.Yu., Zhmakin, A.I. (2008). Энергия смешения соединений $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ [The energy of mixing compounds $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$]. *Pisma v zhurnal tekhnicheskoi fiziki – Technical Physics Letters journal*, no. 34 (9), pp. 17–23 (in Russian).
9. Notzel, R., Ledentsov, N.N., Dawareitz, L. et al. (1992). Semiconductor quantum-wire structures directly grown on high-index surfaces. *Phys. Rev.*, B, 45, pp. 3507–3513.
10. Alferov, Zh.I., Egorov, A.Yu., Zhukov, A.E., Ivanov, S.V. et al. (1992). Вращивание квантовых кластеров GaAs-AlAs на ориентированных не по (100) фасетированных поверхностях GaAs методом молекулярно-пучковой эпитаксии [Growing GaAs quantum clusters on the AlAs-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

oriented not on the (100) surfaces of faceted GaAs by molecular beam epitaxy]. *FTP – SSP*, no. 26, pp. 1715–1719 (in Russian).

11. Gagis G.S., Vasilev V.I., Deryagin A.G., Dudelev V.V., Maslov A.S., Levin R.V., Pushnyi B.V. et al. (2008). Novel materials GaInAsPSb/GaSb and GaInAsPSb/InAs for room-temperature optoelectronic devices for a 3–5 μm wavelength range (GaInAsPSb/GaSb and GaInAsPSb/InAs for 3–5 μm). *Semicond. Sci. Technol.*, 23, pp. 125026–125031.

12. Vasilev, V.I., Gagis, G.S., Kuchinskii, V.I., Danilchenko, V.G. (2015). Formirovanie troinykh tverdykh rastvorov A₁B₂V na plastinakh GaAs i GaSb za schet tverdogfaznykh reakcii zameshcheniia [Formation of binary solid solutions A₁B₂V on GaAs and GaSb wafers by solid-phase substitution reactions]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov – Physics and Technology of Semiconductor*, vol. 49, no. 7, pp. 984–988 (in Russian).

13. Sysoev, I.A., Lunina, M.L., Alfimova, D.L., Blagin, A.V., Gusev, D.A., Seredin, B.M. (2013). Formirovanie massivov kvantovykh tochek Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y} v protsesse ionno-luchevogo osazhdeniia [Formation of arrays of quantum dots Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y} in the ion-beam deposition]. *Neorganicheskie materialy – Inorganic Materials*, vol. 50, no. 2, pp. 1–7 (in Russian).

14. Okada, K., Suzuki, I. (1982). Classical calculations on the phase transition I. Phase diagram in four-dimensional space for the system with one order parameter. *J. Phys. Soc. Jap.*, vol. 51, no. 10, pp. 3250–3257.

15. Kazakov, A.I., Mokritskii, V.A., Romanenko, V.N. et al. (1987). *Raschet fazovykh ravnovesii v mnogokomponentnykh sistemakh [Calculation of phase equilibria in multicomponent systems]*. Moscow: Metallurgiiia (in Russian).

Казаків Анатолій Іванович – доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування в електроніці та телекомунікаціях, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна).

Казаків Анатолій Іванович – доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування в електроніці та телекомунікаціях, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна).

Kazakov Anatolii – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Information Design Technologies in Electronics and Telecommunications, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., Odessa, 65044, Ukraine).

E-mail: anatkaz@mail.ru

Шаповалов Геннадій Віталєвич – старший преподаватель кафедры информационных технологий проектирования в электронике и телекоммуникациях, Одеський національний політехнічний університет, (просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна).

Шаповалов Геннадій Віталєвич – старший викладач кафедри інформаційних технологій проектування в електроніці та телекомунікаціях, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна).

Shapovalov Hennadii – Senior Lecturer of the Department of Information Design Technologies in Electronics and Telecommunications, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., Odessa, 65044, Ukraine).

E-mail: sciencestudies@rambler.ru

УДК 539.23

*Максим Болотов***ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОСАДЖЕННЯ ТОНКИХ МЕТАЛЕВИХ ПЛІВОК
У ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ***Максим Болотов***ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПЛЕНОК В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ С ПОЛЫМ КАТОДОМ***Maksym Bolotov***OPTIMIZATION OF THE DEPOSITION PROCESS OF THIN METAL FILMS
IN GLOW DISCHARGE WITH HOLLOW CATHODE**

Наведено результати застосування методів математичного планування експерименту з метою визначення найбільш впливових на процеси формування та росту металевого тонкоплівкового покриття параметрів режиму осадження у тліючому розряді з порожнистим катодом. У результаті роботи отримано регресійну математичну модель, яка дозволяє отримати результати з 4...6 % похибкою відносно експериментальних.

Ключові слова: математичне планування експерименту, тліючий розряд, порожнистий катод, тонкоплівкове покриття, регресійна модель.

Рис.: 2. Табл.: 4. Бібл.: 11.

Приведены результаты применения методов математического планирования эксперимента с целью определения наиболее влиятельных на процессы формирования и роста металлического тонкопленочного покрытия параметров режима осаджения в тлеющем разряде с полым катодом. В результате работы получено регрессионную математическую модель, которая позволяет получить результаты с 4...6 % погрешностью относительно экспериментальных.

Ключевые слова: математическое планирование эксперимента, тлеющий разряд, полый катод, тонкопленочное покрытие, регрессионная модель.

Рис.: 2. Табл.: 4. Библ.: 11.

The results of methods of mathematical planning of the experiment application to determine the most influential on the formation and growth of metallic thin film coating deposition mode setting in the glow discharge with the hollow cathode are presented in this work. The regression mathematical model allows getting results with an error 4...6 % relative to the experimental obtained in this study.

Key words: mathematical experiment planning, glow discharge, hollow cathode, thin film coating, the regression model.

Fig.: 2. Tabl.: 4. Bibl.: 11.

Постановки проблеми. Тонкі металеві плівки знаходять широке застосування в різних галузях сучасної промисловості. Найбільшого розповсюдження тонкоплівкові елементи отримали, насамперед, у технологічних процесах електроніки у процесі виготовлення, наприклад, напівпровідникових приладів, у лазерній та нелінійній оптиці для надання поляризаційних, просвітлюючих або ж дзеркальних властивостей оптичним елементам, у механіці для отримання функціональних антикорозійних, зносостійких покриттів тощо. Проблема отримання структур у вигляді тонких металевих плівок є чи не найактуальнішою в мікроелектроніці у процесі виготовлення інтегральних схем.

Відомі дві основні групи методів осадження тонких металоплівкових покриттів: хімічне осадження з парової фази (CVD) і фізичне осадження з парової фази (PVD), які відрізняються між собою способом отримання плівкоутворюючого потоку атомів, іонів або молекул. До першої групи відносяться методи, в яких металеві прошарки покриття утворюються в результаті хімічних реакцій.

На сьогодні велика увага приділяється саме PVD методам, в яких необхідні для синтезу покриттів атоми та молекули металу отримують у результаті процесів, пов'язаних з випаровуванням мішені, виготовленої з певного металу або ж її розпиленням. Основними представниками цієї групи методів є розпилення катодними плямами вакуумно-дугового розряду, електронним та іонним пучками, термічне вакуумне випаровування, магнетронне розпилення тощо. Досвід застосування таких технологій у виробничих умовах поряд із перевагами дозволив визначити й основні їх недоліки, головним чином пов'язаними з низькою швидкістю осадження, поганою однорідністю покриття, незадовільною адгезією з поверхнею основи, обмеженістю оброблювальних поверхонь і т. ін.

Останнім часом для генерування необхідних потоків атомів і молекул з метою отримання металоплівкових прошарків застосування набула газорозрядна плазма анодального тліючого розряду із холодним катодом у схрещених електричному і магнітному полях при тисках нижче 1 Па. Результати досліджень, виконаних у роботах [1; 2; 3], показали, що застосування газорозрядної плазми низького тиску ініційованої в магнітному полі дозволяє отримувати металопокриття за товщиною близьких до однорідного на субстратах з великою площею поверхні. Висока швидкість розпилення, відсутність перегріву поверхні основи, відносно мала ступінь забрудненості плівок робить цей спосіб дуже ефективним джерелом спрямованих атомів й іонів металу, придатних для осадження покриттів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Водночас практично відсутні дані стосовно застосування як джерела розпилюваних часток для вирощування металевих плівок на діелектричних підложках низькотемпературної плазми тліючого розряду із порожнистим катодом без прикладеного периферійного магнітного поля при традиційних для нього тисках 1–100 Па.

У роботах [4; 5; 6] проведено дослідження щодо застосування тліючого розряду із порожнистим катодом у різних технологічних процесах, що дозволило визначити основні його переваги, пов'язані, в першу чергу, із простотою конструкції, великим терміном роботи мішені (катода) між замінами, низькою вартістю обладнання в порівнянні з магнетронними системами. Все це обумовило економічну доцільність та актуальність досліджень застосування тліючого розряду з порожнистим катодом для осадження тонких металевих плівок на діелектричні основи.

Традиційні методи досліджень пов'язані з експериментами, що вимагають великих витрат, сил і засобів, оскільки є «пасивними» – ґрунтованими на почерговому варіюванні окремих незалежних змінних в умовах, коли інші прагнуть зберегти незмінними.

Процеси формування та росту металеві плівки здебільшого є багатофакторними, тобто, визначаються узгодженістю багатьох параметрів, таких як форма, розміри та взаємне просторове положення мішені та поверхні основи, тиск у вакуумній камері, сила струму та напруга в розрядному проміжку, час осадження, що значно ускладнює керування процесом осадження покриття.

Мета статті. У зв'язку з цим мета цієї роботи полягає в оптимізації умов проведення технологічного процесу осадження тонкоплівкового покриття в тліючому розряді із застосуванням ефекту порожнистого катоду, що пов'язане з вибором з усієї сукупності параметрів режиму найбільш оптимальних, тобто параметрів, найбільш тісно пов'язаних із товщиною плівки.

Виклад основного матеріалу досліджень. Визначення цих параметрів традиційними способами в цьому випадку ускладнено, тому їх вибір здійснювали за допомогою оцінювання коефіцієнтів при відповідних чинниках статичних моделей, побудованих за допомогою методів математичного планування експерименту [7].

У модель заносилася сукупність параметрів з урахуванням можливості визначення їх кількісної оцінки. Параметром оптимізації було призначено товщину мідного шару покриття (δ , $\mu\text{м}$), осадженого на скляному субстраті. Як варійовані фактори приймали: відстань катод-субстрат $L_{\text{к-с}}$ (X_1), струм розряду I_p (X_2), величину тиску в розрядній камері P (X_3) та час осадження t (X_4).

З метою зменшення впливу випадкових похибок вимірювань кожний дослід під час проведення експерименту повторювався 5 разів. Інтервали варіювання факторів і їх числові значення на верхньому і нижньому рівнях наведені в табл. 1.

Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Інтервали варіювання, ΔX	Рівні варіювання		
		Нижній рівень, (X ₁ =-1)	Основний рівень	Верхній рівень, (X ₁ =+1)
Відстань катод-субстрат (L _{к-с}), мм	10	10	20	30
Струм розряду I _p , mA	25	50	75	100
Тиск у газорозрядній камері P, Па	20	20	40	60
Час осадження t, с	20	20	40	60
Параметр оптимізації – товщина мідної плівки δ, μm				

З метою визначення впливу значень варіюваних факторів на величину параметра оптимізації застосовували повний факторний експеримент, матриця якого має вид 2⁴ (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця планування експериментів 2⁴

№ досліджу	Рівні факторів				Параметр оптимізації у, μm
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
1	-	-	-	+	Y ₁
2	+	-	-	-	Y ₂
3	-	+	-	-	Y ₃
4	+	+	+	+	Y ₄
5	-	-	-	-	Y ₅
6	+	-	+	-	Y ₆
7	-	+	+	-	Y ₇
8	-	+	-	+	Y ₈
9	+	+	-	-	Y ₉
10	-	-	+	+	Y ₁₀
11	-	-	+	-	Y ₁₁
12	+	+	+	-	Y ₁₂
13	+	-	-	+	Y ₁₃
14	+	+	-	+	Y ₁₄
15	+	-	+	+	Y ₁₅
16	-	+	+	+	Y ₁₆

Експерименту, що містить таку кількість дослідів, відповідатиме лінійна модель, яка має такий вигляд:

$$y_1 = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4. \quad (1)$$

Розрахунок коефіцієнтів при відповідних факторах рівняння здійснювалася за формулами, наведеними в роботі [8].

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{N}, \quad j = 0, 1, \dots, k, \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^N x_{ji}$ – алгебраїчна сума елементів вектор-стовпця кожного фактора; i – номер досліджу; j – номер фактора; N – кількість дослідів.

Коефіцієнт b_0 знаходили як середнє арифметичне значення параметра оптимізації, $b_0 = 5,987$, при цьому $b_1 = -1,125$; $b_2 = 2,913$; $b_3 = -1,375$; $b_4 = 2,475$.

Як відомо, величина коефіцієнта при відповідному факторі визначає його внесок у величину параметра оптимізації, тобто чим більше чисельна величина коефіцієнта, тим сильніше фактор впливатиме на параметр оптимізації. У зв'язку з цим можна зробити висновок, що сила розрядного струму та час осадження є найбільш позитивно впливо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вими параметрами, оскільки зі збільшенням їх чисельного значення параметр оптимізації (товщина осадженого шару) зростає.

Найбільш негативно, серед досліджуваних параметрів, на процес осадження покриття в тліючому розряді з порожнистим катодом впливають збільшення відстані катод-підложка і тиску в газорозрядній камері, про що свідчить знак мінус при відповідних коефіцієнтах.

Наочно вплив кожного з факторів, що варіюються, на параметр оптимізації демонструють графіки, отримані за результатами експериментів, що наведені на рис. 1.

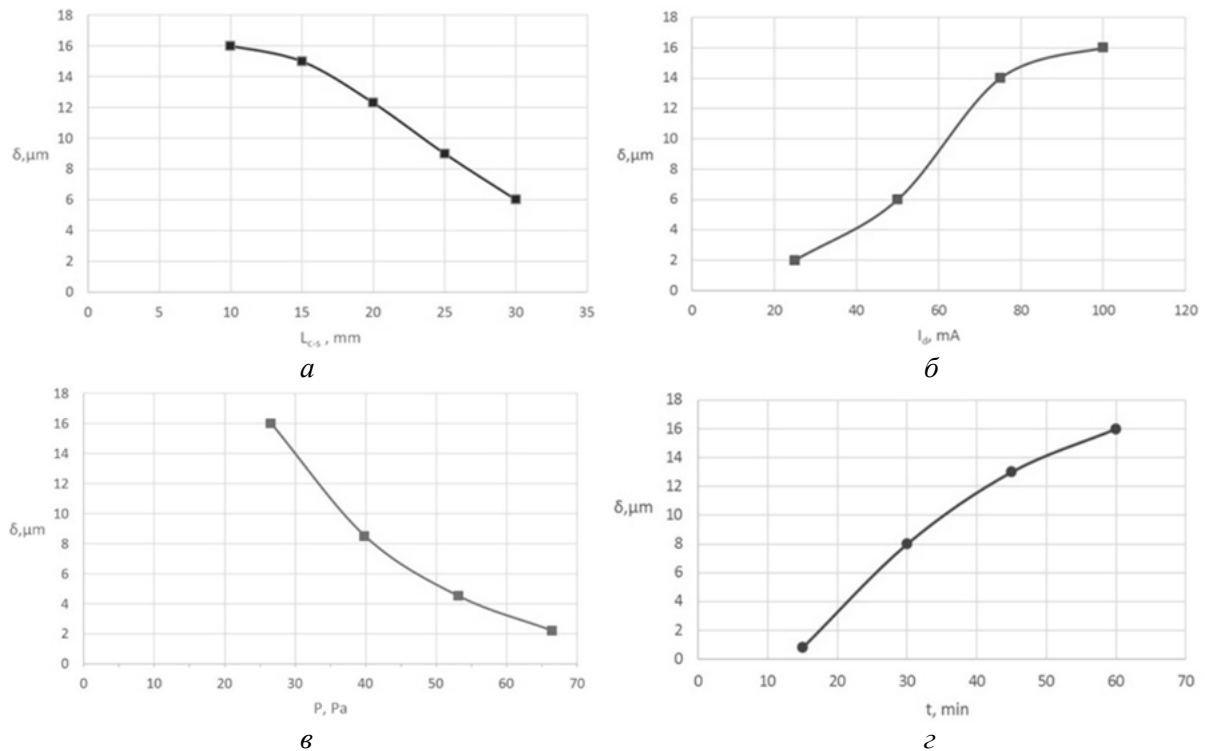


Рис. 1. Характер впливу варійованих факторів:

a – відстань катод-субстрат, мм; *б* – сила розрядного струму, мА; *в* – тиск у газорозрядному проміжку, Па; *з* – час осадження, хв, на функцію відгуку (товщину шару покриття, μm)

Розрахунок параметрів оптимізації y_1 , виконаний за рівнянням (1), показав значну розбіжність відносно експериментальних даних (табл. 3). Це означає, що аналізований процес є складною системою, яку не можна описати лінійною моделлю. Тому для чистоти розрахунків необхідно враховувати не лише лінійні члени b_1x_1 , але й парні або навіть потрійні взаємодії факторів.

Таким чином, з урахуванням парних взаємодій факторів регресійна модель матиме такий вигляд:

$$y_2 = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_{12} \cdot x_{12} + b_{13} \cdot x_{13} + b_{14} \cdot x_{14} + b_{23} \cdot x_{23} + b_{24} \cdot x_{24} + b_{34} \cdot x_{34}. \quad (3)$$

Розрахунок парних коефіцієнтів моделі здійснювали за формулою (2): $b_{12} = -0,1$; $b_{13} = 0,263$; $b_{14} = -0,162$; $b_{23} = -0,6$; $b_{24} = 1,625$; $b_{34} = 0,113$.

Рівняння регресії з ефектом потрійних взаємодій факторів виглядає таким чином:

$$y_3 = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_{12} \cdot x_{12} + b_{13} \cdot x_{13} + b_{14} \cdot x_{14} + b_{23} \cdot x_{23} + b_{24} \cdot x_{24} + b_{34} \cdot x_{34} + b_{123} \cdot x_{123} + b_{124} \cdot x_{124} + b_{234} \cdot x_{234} + b_{134} \cdot x_{134}. \quad (4)$$

Потрійні коефіцієнти рівняння мають такі значення: $b_{123} = 0,137$; $b_{124} = 0,387$; $b_{134} = -0,275$; $b_{234} = -0,138$.

Результати розрахунку рівнянь регресії з урахуванням ефекту парних та потрійних взаємодій (y_2, y_3) досліджуваних факторів, наведені в табл. 3, вказують на достатньо високу точність моделі при врахуванні саме потрійних зв'язків, про що свідчить значна схожість результатів розрахунку з експериментальними.

Таблиця 3

Результати експериментів

№ досліду	Рівні факторів				Експериментальне значення параметра оптимізації $y, \mu\text{m}$	Розрахункове значення параметра оптимізації $y_1, \mu\text{m}$	Значення параметра оптимізації з урахуванням парних взаємодій $y_2, \mu\text{m}$	Значення параметра оптимізації з урахуванням потрійних взаємодій $y_3, \mu\text{m}$
	$X_1, \text{мм}$	$X_2, \text{мА}$	$X_3, \text{Па}$	$X_4, \text{с}$				
1	10	50	20	60	6	8,05	6,3	5,9
2	30	50	20	20	2,5	0,85	2,5	2,5
3	10	100	20	20	9	8,9	8,74	8,9
4	30	100	60	60	10	9	10,54	10,13
5	10	50	20	20	4	3,1	3,712	4,1
6	30	50	60	20	1	-1,9	0,99	1,12
7	10	100	60	20	3,5	6,2	3,8	3,6
8	10	100	20	60	16	13,9	16,3	16,13
9	30	100	20	20	4,5	6,7	5,04	4,6
10	10	50	60	60	5	5,3	4,7	5,1
11	10	50	60	20	1,4	0,35	1,7	1,3
12	30	100	60	20	2,2	3,93	1,7	2,1
13	30	50	20	60	2,9	5,8	3,6	2,9
14	30	100	20	60	14	11,63	13,5	13,9
15	30	50	60	60	1,8	3,05	1,8	1,8
16	10	100	60	60	12	11,13	11,74	11,26

Для визначення зв'язку між незалежними змінними та параметром оптимізації (товщиною мідної плівки) було проведено регресійний та кореляційний аналіз.

Одним з головних показників, що визначають під час проведення кореляційного аналізу, є величина коефіцієнта множинної кореляції Пірсона (r), розрахунок якого здійснювали за такою формулою [9]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5)$$

де $(x_i - \bar{x})$ та $(y_i - \bar{y})^2$ – квадрат різниці середніх арифметичних значень x та y .

Звідки $r=0,916$, що вказує на статистично сильний зв'язок між варійованими параметрами.

Другим головним параметром кореляційного аналізу, що визначає взаємозв'язок між варійованими факторами та параметром оптимізації, є коефіцієнт множинної детермінації (r^2), $r^2 = 0,84$, тобто дисперсія залежної змінної становить 84 %. Таким чином, можна сказати, що такий набір незалежних змінних (варійованих параметрів) на 84 % впливає на параметр оптимізації, решта 16 % варіації забезпечується впливом інших, не врахованих у моделі параметрів. Це досить високий результат.

Проведений регресійний аналіз наведено у вигляді графіка, представлено на рис. 2.

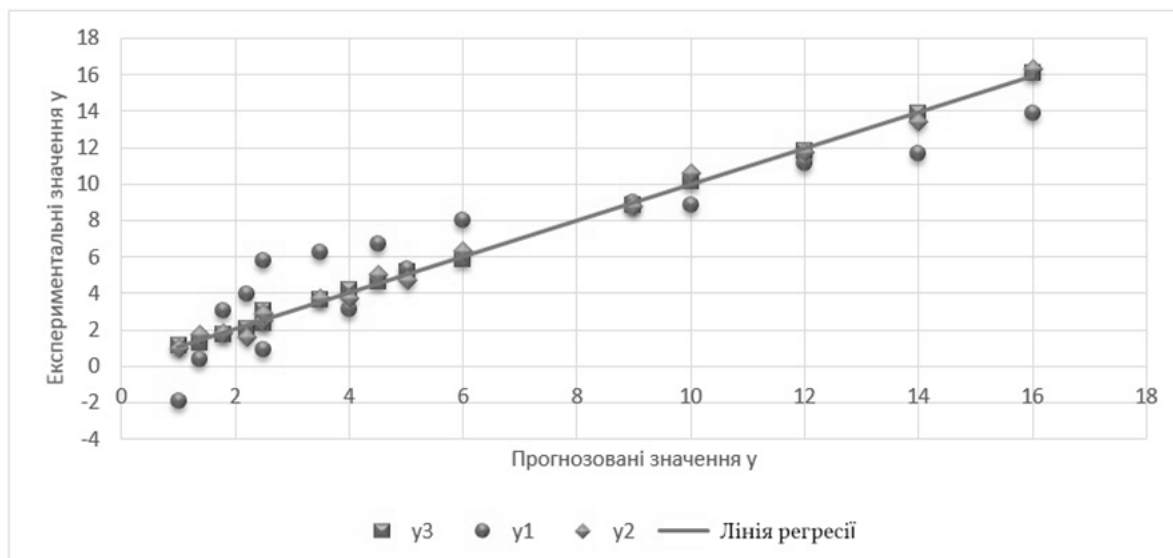


Рис. 2. Діаграма розсіювання розрахункових значень параметра оптимізації

Перевірку значущості кожного з коефіцієнтів рівняння проводили незалежно із використанням *t*-критерію Стьюдента та побудовою довірчого інтервалу.

Передусім необхідно знайти дисперсію коефіцієнта регресії, яка розраховується за формулою [10]:

$$S_{bj}^2 = \frac{S_{\epsilon_{i0}}^2}{N}, \tag{6}$$

де $S_{\epsilon_{i0}}^2$ – дисперсія відтворюваності; N – кількість дослідів.

З урахуванням кількості проведених паралельних дослідів дисперсія відтворюваності визначається як:

$$S_{\epsilon_{i0}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{NN} (y_u^0 - \bar{y}^0)^2}{NN - 1}, \tag{7}$$

де y_u^0 – середнє арифметичне значення параметра оптимізації; \bar{y}^0 – середнє арифметичне значення параметра оптимізації, отримані при паралельних дослідях; NN – кількість паралельних опитів. Як було сказано вище, в кожній точці експеримент повторювався 5 разів. У зв'язку з цим у нашому випадку $NN-1 = 4$.

Розрахункове значення *t*-критерію Стьюдента визначається за формулою:

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{bj}}, \tag{8}$$

де $|b_j|$ – абсолютне значення коефіцієнта.

Розрахунки, проведені за формулою (8), представлені у вигляді таблиці 4. Порівняння результатів розрахунку з табличним значенням *t*-критерію Стьюдента, що для нашого числа степенів вільності дорівнює $t = 1,795$ можна сказати, що коефіцієнти b_2, b_3, b_4 значущі в межах довірчої вірогідності 0,9. Коефіцієнтом b_1 можна знехтувати.

Побудова довірчого інтервалу підтвердила попередньо отримані результати. Абсолютне значення першого критерію b_1 менше верхньої межі довірчого інтервалу, що свідчить про його незначущість.

Оцінювання значущості отриманої моделі і, відповідно, її адекватність здійснювалось на основі визначення F -критерію Фішера [11]:

$$F = \frac{S_{\text{зал}}^2}{S_{\text{від}}^2}, \quad (9)$$

де $S_{\text{зал}}^2$ – залишкова дисперсія, що розраховується як:

$$S_{\text{зал}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_i^-)^2}{f}, \quad (10)$$

де $\sum_{i=1}^N (y_i - y_i^-)^2$ – сума квадратів різниці експериментальних та розрахункових значень параметра оптимізації; f – число степенів вільності, $f = N - (k+1)$, k – кількість факторів. Таким чином $f = 11$.

Результати розрахунків F -критерію, наведені у зведеній таблиці результатів (табл. 4), показують, що розрахункове значення критерію Фішера $F_{\text{роз}} = 2,288$ дещо менше за табличне $F_{\text{табл}} = 3,4$, що свідчить про адекватність отриманої моделі.

Таблиця 4

Зведена таблиця результатів

Значення коефіцієнтів	t-статистика, t=1,795 для довірчої вірогідності 0,9	Довірчий інтервал		Коефіцієнт множинної кореляції, r	Коефіцієнт детермінації, r ²	F- критерій
		Нижня межа bj-Δbj	Верхня межа bj+Δbj			
b ₀ =5,987	-	-	-	0,916	0,84	2,288/3,4
b ₁ =-1,125	1,712	-0,608	-1,642			
b ₂ =2,913	4,431	1,347	2,742			
b ₃ =-1,375	2,092	-0,832	-1,286			
b ₄ =2,475	3,766	1,144	2,265			

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

1. Завдяки застосуванню методів математичного планування експерименту встановлено, що серед усіх досліджуваних параметрів найбільший позитивний вплив на процеси зародження та росту тонкоплівкового металопокриття чинять сила розрядного струму I_p та тривалість осадження t_{oc} , у той час як відстань катод-субстрат $L_{к-с}$ та тиск у газорозрядній камері P призводять до суттєвого зменшення товщини осадженої плівки. Таким чином, можна відзначити, що процес нанесення тонких плівок на діелектричні субстрати в газорозрядній плазмі тліючого розряду ініційованого в порожнистому катоді є складним, багатофакторним процесом, що визначається узгодженістю багатьох параметрів.

2. Встановлено, що побудована регресійна математична модель дозволяє отримати результати теоретичного розрахунку з 4...6 % похибкою відносно експериментальних.

3. Проведені кореляційний та регресійний аналізи показали, що отримана модель є статистично значущою в межах довірчої вірогідності 0,9. Значення коефіцієнта множинної кореляції знаходиться на рівні 0,916, що вказує на досить тісний взаємозв'язок між вхідними параметрами і параметром оптимізації.

4. У результаті проведеного аналізу встановлено, що параметр оптимізації (товщина мідної плівки) на 84 % описується впливом сукупності досліджуваних параметрів режиму, решта 16 % варіації забезпечується впливом інших, не врахованих у моделі параметрів.

Список використаних джерел

1. *Исследование* характеристик плазмы в несбалансированной магнетронной распылительной системе / А. А. Соловьев, Н. С. Сочугов, К. В. Оскомов, С. В. Работкин // *Физ. плазмы*. – 2009. – Т. 35, № 5. – С. 443–452.
2. *Устройство* для осаждения тонких пленок с бомбардировкой быстрыми атомами аргона / А. С. Метель, В. П. Болбуков, М. А. Волосова, С. Н. Григорьев, Ю. А. Мельник // *Приборы и техника эксперимента*. – 2014. – № 3. – С. 114–121.
3. *Болбуков В. П.* Распыление мишени на дне полого катода источника быстрых молекул газа в неоднородном магнитном поле / В. П. Болбуков // *Вестник МГТУ «СТАНКИН»*. – 2014. – № 2. – С. 111–117.
4. *Bolotov G., Bolotov M., Rudenko M.* Modification of Materials Surface Layers by Low-Energy Ion Irradiation in Glow Discharge / *Bolotov G., Bolotov M., Rudenko M.* // *IEEE 36th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2016”*, pp.135–140, April 2016.
5. *Болотов М. Г.* Дослідження локальних властивостей плазми тліючого розряду з порожнистим катодом стосовно до умов зварювального нагріву / М. Г. Болотов // *Вісник ЧНТУ. Серія «Технічні науки»*. – 2013. – № 1. – С. 112–119.
6. *Болотов М. Г.* Застосування тліючого розряду з порожнистим катодом у процесах поверхневої обробки металів (огляд) / М. Г. Болотов, М. М. Руденко // *Вісник ЧНТУ. Серія «Технічні науки»*. – 2014. – № 2 (73). – С. 100–103.
7. *Новик Ф. С.* Математические методы планирования экспериментов в металловедении / Ф. С. Новик. – М. : МИСИС, 1972. – 105 с.
8. *Болотов М. Г.* Параметри керування процесом нагріву при дифузійному зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом / М. Г. Болотов // *Вісник ЧНТУ. Серія «Технічні науки»*. – 2012. – № 4 (61). – С. 101–106.
9. *Адлер Ю. П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский ; под ред. Ю. П. Адлера. – М. : Наука, 1976. – 278 с.
10. *Растрингин Л. А.* Статистические методы поиска / Л. А. Растрингин. – М. : Наука, 1968. – 376 с.
11. *Айвазян С. А.* Статистическое исследование зависимостей / С. А. Айвазян. – М. : Металлургия, 1966. – 227 с.

References

1. Solovev, A.A., Sochugov, N.S., Oskomov, K.V., Rabotkin S.V. (2009). *Issledovanie kharakteristik plazmy v nesbalansirovannoi magnetronnoi raspylitelnoi sisteme* [A study of plasma characteristics in an unbalanced magnetron sputtering system]. *Fiz. plazmy – Plasma Physics*, Vol. 35, no. 5, pp. 443–452 (in Russian).
2. Metel, A.S., Bolbukov, V.P., Volosova, M.A., Grigorev, S.N., Melnik, Yu.A. (2014). *Ustroistvo dlia osazhdeniia tonkikh plenok s bombardirovkoi bystryimi atomami argona* [An apparatus for depositing thin films with argon fast atom bombardment]. *Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and Experimental Techniques*, no. 3, pp. 114–121 (in Russian).
3. Bolbukov, V.P. (2014). *Raspylenie misheni na dne pologo katoda istochnika bystrykh molekul gaza v neodnorodnom magnitnom pole* [Sputtering target at the bottom of the hollow cathode source of fast gas molecules in an inhomogeneous magnetic field]. *Vestnik MGTU “STANKIN” – Vestnik of MSTU “Stankin”*, no. 2, pp. 111–117 (in Russian).
4. *Bolotov, G., Bolotov, M., Rudenko, M.* Modification of Materials Surface Layers by Low-Energy Ion Irradiation in Glow Discharge. *IEEE 36th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2016”*, pp.135–140, April 2016.
5. Bolotov, M.H. (2013). *Doslidzhennya lokalnykh vlastyvostei plazmy tliuchoho rozriadu z porozhnystym katodom stosovno do umov zvaryvalnoho nahrivu* [The study of local properties of the glow discharge with hollow cathode plasma respect to the welding conditions]. *Visnyk ChNTU. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 1, pp. 112–119 (in Ukrainian).
6. Bolotov, M.H., Rudenko, M.M. (2014). *Zastosuvannya tliyuchoho rozryadu z porozhnystym katodom u protsesakh poverkhnevoyi obrobky metaliv* [Application of glow discharge with hollow

cathode in processes of surface treatment of metals (review)]. *Visnyk ChNTU. Seriiia «Tekhnichni nauky»* – *Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2 (73), pp. 100–103 (in Ukrainian).

7. Novik, F.S. (1972). *Matematicheskie metody planirovaniia eksperimentov v metallovedenii* [*Mathematical methods for design of experiments in metal science*]. Moscow: MISIS (in Russian).

8. Bolotov, M.H. (2012). Parametry keruvannya protsesom nahrivu pry dyfuziynomu zvaryuvanni v tliuchomu rozryadi z porozhnystym katodom [Control parameters of heating process diffusion welding at a hollow cathode glow discharge]. *Visnyk ChNTU. Seriiia «Tekhnichni nauky»* – *Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 4 (61), pp. 101–106 (in Ukrainian).

9. Adler, Yu.P. (ed.), Markova, E.V., Granovskii, Yu.V. (1976). *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh uslovii* [*Planning an experiment in the search for optimal conditions*]. Moscow: Nauka (in Russian).

10. Rastrigin, L.A. (1968). *Statisticheskie metody poiska* [*Statistical methods of research*]. Moscow: Nauka (in Russian).

11. Aivazian, S.A. (1966). *Statisticheskoe issledovanie zavisimostei* [*Statistical research of dependencies*]. Moscow: Metallurgiiia (in Russian).

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: pilgrim.83@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0915-4132>

ResearcherID: H-4183-2014

Scopus Author ID: 57190377278

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.942:004.021

Володимир Казимир, Аліна Посадська

ДИНАМІЧНА ОЦІНКА РИЗИКУ ВИКОНАННЯ ПЛАНУ РОБІТ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Владимир Казимир, Алина Посадская

ДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПЛАНА РАБОТ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Volodymyr Kazymyr, Alina Posadska

DYNAMIC RISK ASSESSMENT OF THE WORK PLAN IMPLEMENTATION BY SIMULATION MODELING

Сьогодні при мережевому плануванні в режимі реального часу і невизначеності необхідно враховувати ризики, щоб мінімізувати втрати. У цій статті розглянуто останні дослідження методів визначення ризику. Представлено й обґрунтовано новий підхід до оцінювання ризику в мережевому плануванні методом імітаційного моделювання, головною відмінністю якого є використання теорії ігор разом з математичним апаратом темпоральних логік. Також представлена формалізація і семантика запропонованого методу оцінки ризику.

Такий метод дозволяє розрахувати і спрогнозувати ймовірність виконання плану робіт для систем мережевого планування в режимі реального часу.

Ключові слова: мережеве планування, система мережевого планування в режимі реального часу, методи оцінювання ризику, E-мережі.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 17.

В настоящее время при сетевом планировании в режиме реального времени и неопределенности необходимо учитывать риски, чтобы минимизировать потери. В данной статье рассмотрены последние исследования методов определения риска. Представлен и обоснован новый подход к оценке риска в сетевом планировании методом имитационного моделирования, главным отличием которого является использование теории игр вместе с математическим аппаратом темпоральных логик. Также представлена формализация и семантика предложенного метода оценки риска.

Данный метод позволяет рассчитать и спрогнозировать вероятность выполнения плана работ для систем сетевого планирования в режиме реального времени.

Ключевые слова: сетевое планирование, система сетевого планирования в режиме реального времени, методы оценки риска, E-сети.

Рис.: 5. Табл.: 1. Библ.: 17.

Currently, it is necessary to account risks during network planning in real time mode and uncertainty to minimize losses. Recent studies of risk assessment methods are reviewed in the article. A new approach to risk assessment in the network planning by simulation modeling method is presented and substantiated. The main difference is the usage of game theory with the mathematical apparatus of temporal logics. Also formalization and semantics of the proposed risk assessment method is provided.

This method allows calculation and forecast the probability of plan implementation for the network planning systems in real time mode.

Key words: network planning, network planning system in real time mode, methods of risk assessment, E-nets.

Fig.: 5. Tabl.: 1. Bibl.: 17.

Постановка проблеми. В умовах сьогодення під час виконання плану робіт умови невизначеності зобов'язують враховувати ризики. У мережевому плануванні під ризиком розуміється результат настання непередбачених подій, внаслідок яких роботи виконуються не вчасно, що веде до затягування всього виробничого процесу, або часу виконання проекту, та до непередбачених втрат фінансових, часових і людських ресурсів [1]. Отже, реалізація будь-якого плану значною мірою залежить від його надійності, яка визначається ймовірністю виконання закладених у план техніко-економічних показників [2].

Ще більші вимоги висуваються до планування робіт у реальному часі. Взагалі задача мережевого планування в реальному часі [3] полягає в тому, щоб забезпечити виконання проекту при заданих обмеженнях, які повинні перевірятися у процесі виконання

плану. В цьому випадку задача планування багато в чому схожа на задачу динамічної верифікації [4], під час вирішення якої часто використовуються різновиди темпоральної логіки [5] для формального визначення обмежень щодо умов функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі останні дослідження методів оцінювання надійності та ризиків відзначено в роботах Я. Д. Гельруда, В. І. Воропаєва, І. В. Дьомкіна, Л. А. Астаніної, Л. В. Кіриної та ін. [1; 2; 6–11]. Розглянемо деякі з них з погляду використання у мережевому плануванні в реальному часі.

Метод, заснований на орієнтованих графах [1] – модель процесу реалізації проекту розглядається у вигляді циклічної альтернативної мережевої моделі (ЦАСМ). За допомогою ЦАСМ можна враховувати альтернативний характер як технології виробництва робіт, так і способів призначення ресурсів на роботи, проводити їх оптимальне призначення з оптимальними темпами використання. Але цей метод враховує тільки послідовні роботи й апріорну оцінку ризиків до експерименту.

Метод пошуку оптимальної стратегії в межах марківського процесу прийняття рішень з немарківською винагородою [9] включає завдання перевірки властивостей системи, виражених за допомогою імовірнісної темпоральної логіки. Однак цей метод не підходить для вирішення поставленої у статті задачі, оскільки в загальному випадку процесу планування є немарківськими.

Генетичні алгоритми. Суть методу полягає в тому, що алгоритм дозволяє досить швидко і надійно знаходити серед величезної кількості можливих варіантів реалізації проекту такі, де термін або фінансові показники мінімальні при раніше заданих умовах [10]. Спочатку будується модель процесу, готуються і вводяться вхідні дані (середня тривалість окремих процесів, діапазон розкиду в меншу і більшу сторону та закон розподілу). Закони розподілу також задаються для решти параметрів. Основний обсяг вхідної інформації вводиться за результатами аналізу вхідних даних. Після цього задаються умови розгалуження процесу та вводиться інформація щодо модифікації вхідних умов. У результаті на виході отримується не одна величина шуканого параметра, наприклад, термін завершення проекту, а розподіл можливих значень. Недоліком такого методу є відсутність прогнозування виконання плану робіт.

Метод, заснований на використанні альтернативної стохастичною мережевої моделі [7], включає аналіз стохастичного графа за допомогою імітаційної моделі і являє собою комбінацію алгоритму Форда – Фалкерсона для знаходження максимальної довжини шляху, логічно виправданих розрахунків, а також елементів методу статистичних випробувань (Монте-Карло). Початковий етап аналізу графа складається з моделювання топології графа й обчислення його тимчасових характеристик. Моделювання топології мережі зводиться до вибору альтернативних шляхів. У результаті отримується конкретна реалізація стохастичного графа – детермінованої мережі. Недоліком такого методу є те, що оцінювання виконання йде до початку проекту, а в реальному часі - не працює.

Метод з використанням теорії ігор [11]. Використовується модель «гра з природою». Нехай розглядається така економічна система, як підприємство. У ній є керуюча система, яка є суб'єктом управління, що впливає на об'єкти за допомогою альтернативних рішень в умовах невизначеності. Це призводить до зміни стану керованої системи тією чи іншою мірою. За допомогою функції виграшу знаходиться найкраща альтернатива, або оптимальна стратегія, за одним із критеріїв (максимакса, Вальда, Севіджа, Гурвіца, Лапласа), або ж використовується багатокритеріальна методика оцінювання ризиків. Для прийняття рішення інформація, що аналізується, концентрується у платіжній матриці та в матриці ризиків. Особам, які приймають рішення, пропонується розглядати декілька, а то і всі застосовані для аналізу критерії, зводити їх в єдину таблицю і

піддавати ретельному аналізу. Як правило, логічно вдається знайти найкращий варіант рішення.

Узагальнюючи результати наведеного аналізу, можна зробити висновок, що вищевказані методи потребують удосконалення, оскільки не враховують перетини часових інтервалів та зміни станів у процесі виконання робіт з одночасним аналізом альтернативних шляхів у плані робіт.

Метою статті є обґрунтування нового методу оцінювання ризику в процесі мережевого планування в режимі реального часу, який базується на використанні імітаційного моделювання у поєднанні з математичним апаратом темпоральних логік у межах вирішення статистичної гри.

Імітаційна модель плану робіт.

Оскільки задача мережевого планування в реальному часі полягає в тому, щоб забезпечити виконання проекту при заданих обмеженнях з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків у часі, то для її вирішення найкраще підходить метод імітаційного моделювання. Саме імітаційна модель плану робіт здатна повно відтворити подібний процес, причому з урахуванням невизначеностей, які стосуються як часу виконання робіт, так і використання ресурсів.

Процес побудови імітаційної моделі зазвичай проходить у три етапи, які зводяться до створення концептуальної, формалізованої та програмної моделей.

Концептуальна модель. Метою створення концептуальної моделі є визначення переліку та послідовності робіт, а також їх параметрів, до яких відносяться терміни та умови виконання робіт з відповідними законами їх розподілу, а також певні характеристики необхідних ресурсів та обмеження для них.

Приклад концептуальної моделі мережевого графіка плану робіт наведено на рис. 1.

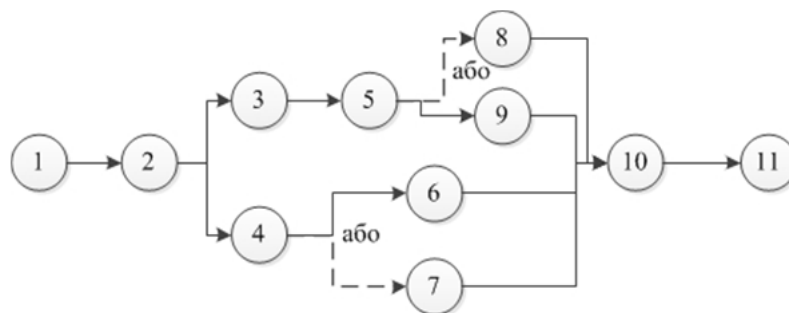


Рис. 1. Концептуальна модель мережевого графіка плану робіт

До вихідної інформації відносяться параметри, що характеризують окремі роботи, загальні вимоги щодо ресурсів та альтернативні шляхи, які показані пунктирною лінією. Ця концептуальна модель є основою для подальшого формального визначення задачі.

Формалізована модель. Для побудови формалізованої моделі будемо використовувати математичний апарат управляючих Е-мереж – Control E-net (CEN) [12], які є різновидом Е-мереж – потужного розширення мереж Петрі. Особливість управляючих Е-мереж полягає у можливості динамічної зміни управляючих функцій переходів, при цьому вирішальна функція, функції активації, затримки і перетворення є функціями часу, здатними змінюватися у процесі виконання мережі.

Формально CEN задається множиною:

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

де $P = \{P_S, P_R\}$ – кінцева непорожня множина позицій, що складається з непересічних підмножин P_S – простих позицій і P_R – вирішальних позицій, $P_S \cap P_R = \emptyset$; множина

простих позицій може містити підмножину вхідних позицій $P_{in} \subseteq P_S$ і підмножину вихідних позицій, які називаються граничними, допускається $P_{in} = \emptyset$ і $P_{out} = \emptyset$, $P_{in} \cap P_{out} = \emptyset$;

T – кінцева непорожня множина переходів, яка може складатися з переходів п'яти типів $\{ "T_T", "T_F", "T_J", "T_X", "T_Y" \}$, так званих звичайних Е-мереж, та двох типів додаткових переходів-черг $"T_{QL}"$ та $"T_{QF}"$, $T \cap P = \emptyset$;

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

$V = V_I \cup V_O$ – кінцева множина змінних мережі, що складається з непересічних підмножин V_I – вхідних та V_O – вихідних сигналів, $V_I \cap V_O = \emptyset$;



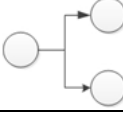
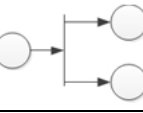
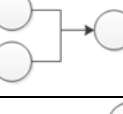
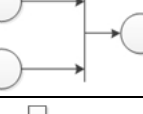

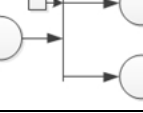
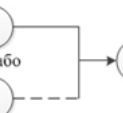
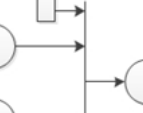
$U = \{r, \sigma, \alpha, \tau, z\}$ – множина керуючих відображень, які визначають правила спрацьовування переходів;

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

Базовий набір переходів SEN, крім додаткових переходів-черг, традиційно, як це визначено для Е-мереж [13], реалізує п'ять основних типів взаємодії паралельно-послідовних процесів. Саме за допомогою цих переходів можуть бути формально визначені особливості концептуальної моделі мережевого графіка, як це показано в табл. 1.

Таблиця 1

Базовий набір переходів

Вузол плану робіт	Е-мережевий вузол	Семантика
		T-перехід («виконання роботи»). Перехід спрацьовує за наявності мітки у вхідній позиції і відсутності її у вихідній позиції
		F-перехід («розгалуження шляхів»). Спрацьовує за наявності мітки у вхідній позиції і відсутності міток у вихідних позиціях
		J-перехід («злиття шляхів»). Перехід спрацьовує при наявності міток в обох вхідних позиціях і відсутності у вихідній
		X-перехід («перемикач між альтернативними шляхами»). Напрямок розвитку процесу визначається значення вирішальної процедури R.
		Y-перехід («вибір»). Y-перехід здатний відображати умови продовження процесу у випадку злиття декількох шляхів. Корисний для відображення зворотних зв'язків, які можуть допускатися у плані

Формалізована модель у вигляді управляючої Е-мережі для мережевого графіка, наведеного на рис. 1, представлена на рис. 2.

Програмна модель. Для побудови програмної моделі мережевого графіка будемо використовувати систему розподіленого імітаційного моделювання EMS [14], створену на основі математичного апарату управляючих Е-мереж. Така система дозволяє, використовуючи графічний веб-інтерфейс, відтворити у зручний спосіб всі особливості формалізованої моделі, а також задати умови для забезпечення надійності планів в умовах невизначеності.

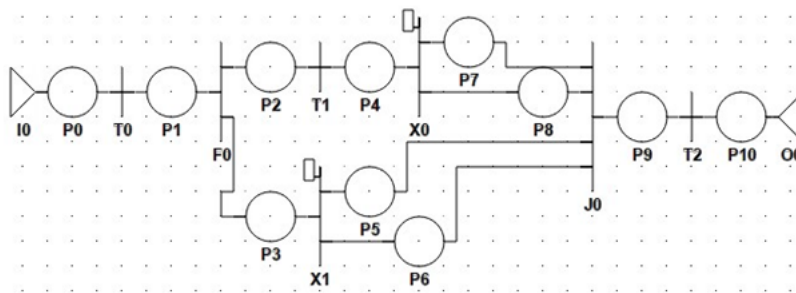


Рис. 2. Формалізована модель мережевого графіка

Графічне представлення програмної моделі мережевого графіка, створеної в EMS, показано на рис. 3.

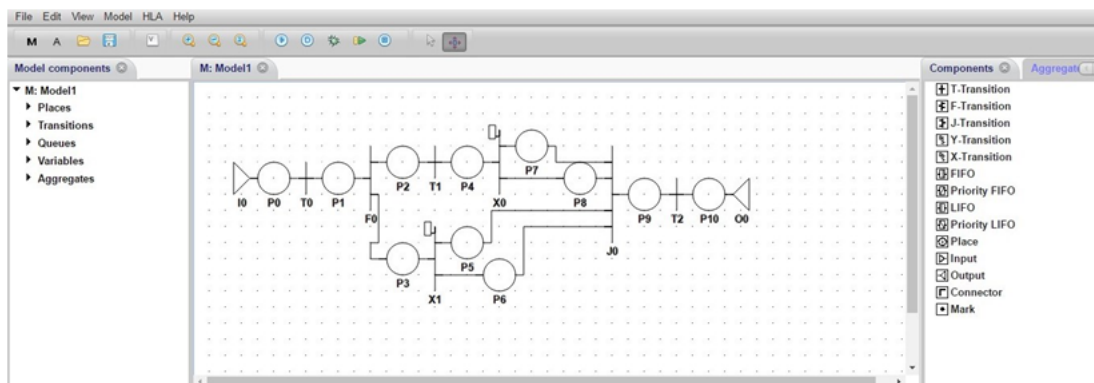


Рис. 3. Графічне представлення програмної моделі мережевого графіка

Формальне визначення властивостей плану робіт.

Властивості плану робіт визначають обмеження щодо плану в перспективі його виконання у часі. Для специфікації властивостей плану пропонується використовувати параметричну темпоральну логіку реального часу PTCTL (Parametric Timed Computation Tree Logic) [15], що дозволяє враховувати як часові обмеження, так і обмеження щодо значень параметрів.

Сформулюємо можливі вимоги до плану робіт за допомогою формул PTCTL:

$GA(a \wedge b)$ – «завжди на всіх шляхах повинні виконуватися умови a і b »;

$GE(b \wedge r_{3 \geq \min})$ – «завжди на якому-небудь шляху повинні виконуватися умова b та $r_3 \geq \min$ »;

$FA(a \vee b)$ – «інколи на всіх шляхах повинні виконуватися умови a чи b »;

$A[\text{not } aU_{\leq 15} b]$ – «робота b повинна бути виконана не пізніше 15 одиниць часу після роботи a », та ін.

Перевірка вимог, заданих у вигляді формул PTCTL, здійснюється за допомогою процедури «model cheking» [16]. У нашому випадку це буде означати перевірку виконання формули за результатами експерименту з імітаційною моделлю за кожним з можливих альтернативних шляхів. Вибір альтернативного шляху відбувається завдяки зміні значень вирішальної процедури на переходах типу «X».

Під час проведення експерименту на кожному прогоні моделі отримується вектор значень заданих формул $F = \{F_1, \dots, F_k\}$. Враховуючи те, що значеннями формули можуть бути 0 або 1, за результатами n експериментів може бути обчислена ймовірність виконання певної формули P_{F_1} . Тоді загальна ймовірність виконання всіх формул для шляху μ буде становити:

$$P_{F_1} * P_{F_2} * \dots * P_{F_k} = P_{\mu}$$

Ймовірність P_μ буде визначати ризик виконання плану робіт для можливого шляху μ .

Семантика статистичної гри для визначення оптимального шляху.

Під стратегіями природи будемо розуміти набори параметрів моделі (плану), наприклад, кількість фінансових, людських та часових ресурсів. Будемо також вважати, що для кожного з цих наборів задані апріорні ймовірності, які визначають ймовірності того чи іншого стану природи.

У свою чергу, стратегіями статистика будуть всі можливі шляхи на плані робіт. Якщо позначити цілими числами номери переходів типу «X», що зустрічаються на деякому шляху (наприклад, 1-й та 3-й), то такий шлях буде мати позначку $\mu_{1,3}$.

У результаті проведення запланованого набору експериментів для кожної стратегії природи можна буде отримати матрицю гри:

	ξ	$\mu_{1,3}$	$\mu_{2,3}$...	$\mu_{2,4}$
b_1	0,4	$P_{\mu_{1,3}}^{(1)}$	$P_{\mu_{2,3}}^{(1)}$
b_2	0,6	$P_{\mu_{1,3}}^{(2)}$	$P_{\mu_{2,3}}^{(2)}$

де ξ – ймовірність стратегій природи b_1 та b_2 ;

$P_{\mu_{1,3}}^{(1)}$ – ймовірність виконання шляху 1,3 при стратегії природи b_1 .

Вибір оптимальної стратегії може бути зроблений за правилом Байєса, як стратегії, яка має максимальну ймовірність виконання заданого набору формул, що визначають властивості плану робіт:

$$P_{b_i} = \max_j \sum P_\mu^{(j)} * \xi_{b_i}.$$

Алгоритм динамічного оцінювання ризику плану робіт.

Під час виконання плану робіт на кожному кроці зміни станів оцінюється ризик виконання плану в цілому та обирається оптимальний шлях серед всіх альтернатив.

Передумовою виконання алгоритму є визначення стратегії природи, тобто наборів вхідних даних плану робіт. Введення даних для проведення експериментів у системі EMS відбувається через вікно інтерфейсу, показаному на рис. 4.

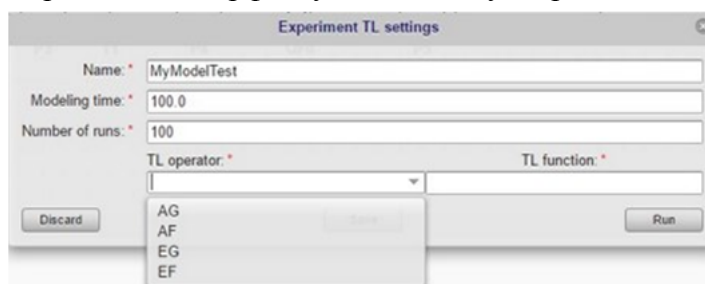


Рис. 4. Введення даних для проведення експерименту

У результаті експерименту отримується оптимальна стратегія для кожного стану плану робіт. Зазначимо, що стан плану в нашому випадку буде визначатися маркуванням позицій побудованої управляючої E-мережі.

Сам алгоритм виконання експерименту для поточного стану включає такі кроки.

1. Вибір чергової стратегії природи.
2. Запуск імітаційних експериментів для поточного початкового стану моделі з визначенням значень формул темпоральної логіки для кожного альтернативного шляху плану робіт.
3. Визначення ризику виконання плану робіт на цьому кроці.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Перевірка виконання всіх існуючих стратегій природи. За наявності неперевіре-них стратегій перехід до п. 1.

5. Знаходження оптимального шляху для переміщення з поточного стану через при-своєння значень вирішальних функцій.

6. Виконання плану до зміни стану.

Таким чином, весь процес оцінювання ризику виконання плану робіт буде носити динамічний характер, аналогічний задачі динамічного програмування [17]: уточнення керуючого впливу відбувається на кожному кроці наближення до остаточної мети, як показано на рис. 5.

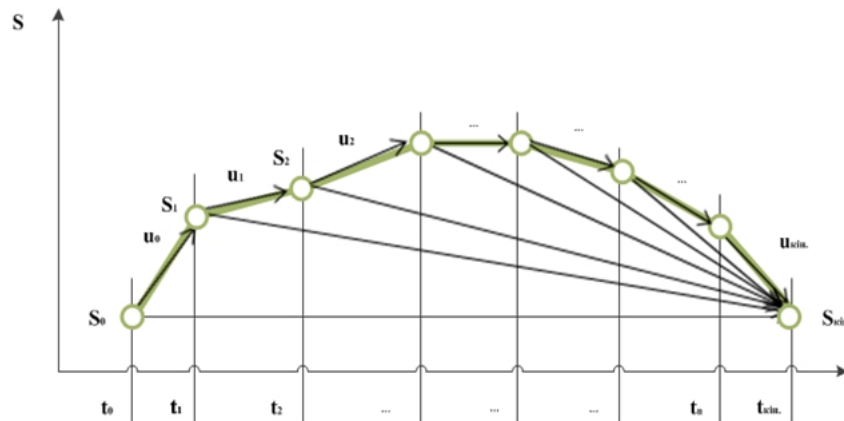


Рис. 5. Графічне представлення задачі динамічного програмування

Під час виконання плану робіт система переходить з початкового стану S_0 до кінцевого стану S_{kin} за деякий час t з урахуванням керуючого впливу u на кожному кроці.

Висновки. У цій статті розглянуто новий підхід до оцінювання ризику виконання плану робіт у мережевому плануванні в режимі реального часу методом імітаційного моделювання. Даний метод дозволяє за схемою динамічного програмування обирати оптимальні шляхи розвитку плану з урахуванням ризику виконання плану робіт, обчисленого за сукупною ймовірністю зберігання властивостей плану, визначених набором формул темпоральної логіки.

Список використаних джерел

1. Авербах Л. И. Моделирование задач планирования и управления проектами в условиях риска и неопределенности с использованием циклической сетевой модели [Электронный ресурс] / Л. И. Авербах, В. И. Воропаев, Я. Д. Гельруд. – Режим доступа : <http://www.sovnet.ru/pages/casm2.doc.3-4>.
2. Принципы планирования и обеспечение надежности плана. Классификация планов на предприятии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://studme.org/49340/ekonomika/printsiyu_planirovaniya_obespechenie_nadezhnosti_plana_klassifikatsiya_planov_predpriyatii.
3. Еремеев А. П. Компонента временных рассуждений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени / А. П. Еремеев, И. Е. Куриленко // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 1. – С. 31–45.
4. Методы тестирования и верификации программного обеспечения : [монография] / В. В. Литвинов, В. В. Казимир, А. Л. Ляхов, И. В. Путиенко, И. В. Богдан. – Нежин : ФОП Лукьяненко В.В. ТПК «Орхидея», 2013. – 359 с.
5. Казимир В. В. Мережеве планування в режимі реального часу з використанням апарату темпоральних логік / В. В. Казимир, А. С. Посадська // Технічні науки і технології. – 2015. – № 1 (1). – С. 61–67.
6. Гельруд Я. Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами / Я. Д. Гельруд // Вестник НГУ. Серия: Математика, механика, информатика. – 2010. – Т. 10, вып. 4. – С. 36–51.

7. Астанина Л. А. Альтернативные стохастические графы в проектном менеджменте / Л. А. Астанина, Л. В. Кирина // Сборник научных трудов Sworld. – 2012. – Т. 24. Экономика. – С. 71–78.
8. Демкин И. В. Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования. Основные подходы к оценке инновационного риска. Часть 1. Оценка риска / И. В. Демкин // Проблемы анализа риска. – 2005. – Т. 2. – № 3. – С. 249–273.
9. Littman, Michael L. Markov games as a framework for multi-agent reinforcement learning. In Proceedings of the Eleventh International Conference on Machine Learning (ICML-1994). New Brunswick, NJ, 1994. – Pp. 157–163.
10. Назимко В. В. Учет рисков в сетевом планировании развития горных работ при отработке выемочного участка угольной шахты / В. В. Назимко, И. В. Назимко, А. А. Яйцов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: економічна. – 2010. – Вип. 38-3. – С. 94–103.
11. Методы количественной оценки рисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://studme.org/45514/ekonomika/metody_kolichestvennoy_otsenki_riskov.
12. Казимир В. В. Модельно-ориентированное управление интеллектуальными производственными системами : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.13.06 / Казимир Владимир Викторович. – К., 2005. – 328 с.
13. Nutt, G. Evaluation Nets for Computer Systems Performance Analysis / G. Nutt // FJCC, AFIPS PRESS. – 1972. – Pp. 279–286.
14. 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.
15. Parametric Computation Tree Logic with Knowledge [Electronic resource]. – Access mode: <http://csp2011.mimuw.edu.pl/proceedings/PDF/CSP2011286.pdf>.
16. Казимир В. В. Верификация реактивных систем с помощью формул темпоральной логики на E-сетевых моделях // Математичні машини і системи. – 2002. – № 1. – С. 29–40.
17. Динамічне програмування [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://pidruchniki.com/14250725/menedzhment/dinamichne_programuvannya.

References

1. Averbah, L.I., Voropaev, V.I., Gelrud, Ya.D. (2010). Modelirovanie zadach planirovaniia i upravleniia proektami v usloviakh riska i neopredelennosti s ispolzovaniem tsiklicheskoj setevoi modeli [Simulation of tasks of planning and management of the project in the conditions of risk and uncertainty using a cyclic network model]. Retrieved from <http://www.sovnet.ru/pages/casm2.doc.3-4>.
2. Printsipy planirovaniia i obespechenie nadezhnosti plana. Klassifikatsiia planov na predpriatii [Principles of planning and ensuring the reliability of the plan. The classification of plan for the enterprise] (2016). Retrieved from http://studme.org/49340/ekonomika/printsipy_planirovaniya_-_obespechenie_nadezhnosti_plana_klassifikatsiya_planov_predpriatii.
3. Eremeev, A.P., Kurilenko, I.E. (2009). Komponenta vremennykh rassuzhdenii dlia intellektualnykh sistem podderzhki priniatii reshenii realnogo vremeni [Component of temporal reasoning for intelligent systems of decision support in real-time]. *Iskusstvennyi intellekt i priniatie reshenii – Artificial intelligence and decision-making*, no. 1, pp. 31–45 (in Russian).
4. Litvinov, V.V., Kazimir, V.V., Liahov, A.L., Putienko, I.V., Bogdan, I.V. (2013). Metody testirovaniia i verifikatsii programmnoho obespecheniia [Methods of testing and verification of the software]. *Nizhyn: FOP V. Lukyanenko TPK «Orchid»* (in Russian).
5. Kazymur, V.V., Posadska, A.S. (2015). Merezheve planuvannia v rezhymi realnoho chasu z vykorystanniam aparatu temporalnykh lohik [Network planning in real time mode using the temporal logic]. *Tekhnichni nauky i tekhnolohii – Technical sciences and Technology*, no. 1 (1), pp. 61–67 (in Ukrainian).
6. Gelrud, Ya.D. (2010). Obobshhennye stohasticheskie setevye modeli dlia upravleniia kompleksnymi proektami [Generalized stochastic network models for the management of complex projects]. *Vestnik NGU. Serii: Matematika, mehanika, informatika - Vestnik NGU. Series: Mathematics, Mechanics and Computer Science*, vol. 10, no. 4, pp. 36–51 (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Astanina, L.A., Kirina, L.V. (2012). Alternativnye stohasticheskie grafy v proektnom menedzhmente [Alternative stochastic graphs in project management]. *Sbornik nauchnyh trudov Sworld - Collection of scientific papers Sworld*, vol. 24 Economics, pp. 71–78 (in Russian).
8. Demkin, I.V. (2005). Upravlenie innovatsionnym riskom na osnove imitacionnogo modelirovaniia. Osnovnye podkhody k otsenke innovatsionnogo riska. Chast 1. Otsenka riska [Innovative Risk Management, based on simulation modeling. Basic approaches to innovative risk assessment. Part 1: Risk assessment]. *Problemy analiza riska – Problems of risk analysis*, vol. 2, no. 3, pp. 249–273 (in Russian).
9. Littman, Michael L. (1994). *Markov games as a framework for multi-agent reinforcement learning*, in *Proceedings of the Eleventh International Conference on Machine Learning (ICML)*. New Brunswick, NJ, pp. 157–163.
10. Nazimko, V.V., Nazimko, I.V., Yaitsov, A.A. (2010). Uchet riskov v setevom planirovanii razvitiia gornyykh rabot pri otrabotke vyemochnoho uchastka ugolnoi shahty [Consideration of risks in network planning of development of mining operations in mining production areas of a coal mine]. *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: ekonomichna – Scientific papers of DonNTU. Series: economic*, issue 38-3, pp. 94–103 (in Russian).
11. *Metody kolichestvennoj ocenki riskov (2016)*. [Methods of quantitative risk assessment]. Retrieved from http://studme.org/45514/ekonomika/metody_kolichestvennoy_otsenki_riskov.
12. Kazimir, V.V. (2005). Modelno-orientirovannoe upravlenie intellektualnymi proizvodstvennymi sistemami [Model-Based Management of intellectual manufacturing systems]. *Doctor's thesis*. Kyiv (in Russian).
13. Nutt, G. (1972). *Evaluation Nets for Computer Systems Performance Analysis*. FJCC, AFIPS PRESS, pp. 279–286.
14. Kazymyr, V.V., Sira, H.A., Mushketyk, I.I. (2011). Rozpodilena systema imitatsiinoho modeliuвання EMS [Distributed simulation system EMS]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 3, pp. 144–153 (in Ukrainian).
15. *Parametric Computation Tree Logic with Knowledge (2016)*. Retrieved from <http://csp2011.mimuw.edu.pl/proceedings/PDF/CSP2011286.pdf>.
16. Kazimir, V.V. (2002). Verifikatsiia reaktivnykh sistem s pomoshchiu formul temporalnoi logiki na E-setevykh modeliakh [Verification of reactive systems using temporal logic formulas on E-network models]. *Matematichni mashini i sistemi – Mathematical Machines and Systems*, no. 1, pp. 29–40 (in Russian).
17. *Dynamichne prohramuvannya [Dynamic programming] (2016)*. Retrieved from http://pidruchniki.com/14250725/menedzhment/dinamichne_programuvannya.

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: <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

Scopus Author ID: 56644727300

Посадська Аліна Сергіївна – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Посадская Алина Сергеевна – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Posadska Alina – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: alinka.posadskaya@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6155-5913>

УДК 004.85

*Виталий Литвинов, Ирина Посадская, Максим Савельев***АРХИТЕКТУРА ЗНАНИЕ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ***Vitalii Lytvynov, Iryna Posadska, Maxim Saveliev***АРХІТЕКТУРА ЗНАННЄОРІЄНТОВАНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ***Vitalii Lytvynov, Iryna Posadska, Maxim Saveliev***ARCHITECTURE OF KNOWLEDGE-ORIENTED AUTOMATED SYSTEM OF LEARNING**

Длительный период времени процесс автоматизации обучения заключался в использовании компьютерных средств с целью поддержки традиционной формы обучения.

В данной статье представлена архитектура автоматизированной системы обучения, главным отличием которой является модуль формирования знаний о предметной области. Выделение в текстово-графическом представлении курса фрагментов для формализации дает возможность автоматизировать процессы обучения и контроля знаний. Гибкость в выборе способа представлений знаний в формализованной форме, установление прямых ссылок между формализованными знаниями и структурированными текстово-графическими позволяют инженеру по знаниям вносить изменения в структуру курса, не нарушая процесс обучения.

Эффективность обучения повышается за счет автоматизации промежуточного и итогового контролей знаний.

Ключевые слова: автоматизированная система обучения, инженер по знаниям, формализация, обучение, автоматизация.

Рис.: 5. Библ.: 8.

Тривалий проміжок часу процес автоматизації навчання полягав у використанні комп'ютерних засобів для підтримки традиційної форми навчання.

У цій статті представлена архітектура автоматизованої системи навчання, головною відмінністю якої є модуль формування знань про предметну область. Виділення в текстово-графічному поданні курсу фрагментів для формалізації дає можливість автоматизувати процеси навчання і контролю знань. Гнучкість у виборі способу представлень знань у формалізованій формі, встановлення прямих посилань між формалізованими знаннями і структурованими текстово-графічними дозволяють інженеру зі знань вносити зміни у структуру курсу, не порушуючи процес навчання.

Ефективність навчання підвищується за рахунок автоматизації проміжного і підсумкового контролів знань.

Ключові слова: автоматизована система навчання, інженер зі знань, формалізація, навчання, автоматизація.

Рис.: 5. Бібл.: 8.

For a long time usage of computer tools for supporting of traditional forms of learning was regarded as the automation in process of learning.

The architecture of the automated learning system is presented in current article. Presence of the unit of domain knowledge formation in it is the main difference among existing systems. Extraction of fragments for the formalization from the text and the graphic representation of the course provides the ability to automate the processes of learning and knowledge control. Flexibility in the choosing of knowledge representation method in the formalized form, and the building of direct links between formalized knowledge and structured text and graphics allow the knowledge engineer to make changes in the structure of the course, without breaking the learning process.

The efficiency of learning is enhanced by the automation of intermediate and final control of knowledge.

Key words: automated learning system, the knowledge engineer, formalization, learning, automation.

Fig.: 5. Bibl.: 8.

Постановка проблемы. Автоматизированные системы обучения (АСО) – это инструментальный комплекс, включающий в себя математическое, методологическое и программное обеспечения, предназначенный для реализации автоматизированного обучения.

Другими словами, АСО предназначены для автоматизации подготовки специалистов с участием или без участия преподавателя, обеспечивают процесс обучение, подготовку учебных материалов, управление процессом обучения и контроль его результатов.

Практически все современные АСО используют частично структурированную информацию о предметной области, представленную в виде текстово-графических материалов, представленных в виде разделов документа. Дальнейшая формализация раздела практически невозможна.

На сегодня актуальными задачами в создании автоматизированных систем являются: дополнение учебных курсов формализованными представлениями фрагментов пре-

дметной области; определение стратегии процесса формализации знаний; интеграция формализованных знаний о предметной области с текстово-графическим представлением раздела документа.

Следующая актуальная задача – это автоматизация процесса обучения при разных формах обучения. Здесь важно учитывать все нюансы проведения лекционных занятий, семинаров, лабораторных и практических работ, курсовых и реальных проектов, и выделить в текстово-графическом представлении курса тех областей, которые подлежат формализации для дальнейшей автоматизации.

Контроль знаний является еще одним уязвимым звеном в существующих системах обучения. В данном подходе используется промежуточный и итоговый контроли на основе семантической связи с предметной областью. Таким образом, появляется проблема описания архитектурно-функциональной модели трех функциональных модулей автоматизированной системы обучения, а именно модуля формирования знаний о предметной области, модулей обучения и контроля знаний, а так же их последующая интеграция.

Анализ последних исследований и публикаций. Постоянное и быстрое развитие информационно-компьютерных технологий требуют повышения качества процесса обучения. Актуальность создания эффективной системы автоматизированного обучения подтверждается постоянными разработками и нововведениями. Чаще всего автоматизация ограничивается созданием электронных тренажеров, средств для контроля знаний, электронных учебных пособий, т. е. средств для сопровождения традиционных форм обучения [1; 2]. С появлением адаптивных систем обучения появился термин индивидуализации обучения, то есть адаптация учебного процесса под конкретного ученика [3–5]. Однако остается ряд нерешенных вопросов, связанных с формализацией предметной области курса, автоматизации процессов обучения и контроля.

Цель статьи. Целью этой статьи является представление и обоснование архитектуры знание-ориентированной системы обучения.

Изложение основного материала. Рассмотрим более подробно архитектуру АСО, ее функциональные модули и их взаимодействие в системе. Участниками в данной системе являются ученик, тьютор, эксперт в предметной области и инженер по знаниям [6].

Как было сказано выше, автоматизированная система обучения должна состоять из таких основных функциональных моделей:

- модуль формирования знаний о предметной области;
- модуль обучения;
- модуль контроля.

Каждый модуль АСО обладает многофункциональностью. Рассмотрим более подробно каждый модуль.

1. Функциональный модуль формирования знаний о предметной области.

Главной функцией этого модуля является *функция структуризации знаний*. Знания в АСО могут быть представлены в двух видах:

– Естественно-языковая текстово-графическая форма представления, встречающаяся практически в каждой, в том числе и современной обучающей системе. Эта форма играет важнейшую роль при взаимодействии обучающегося с обучающей системой, играя роль дружественного пользовательского интерфейса. Однако она имеет крупные недостатки в части организации структуризации знаний, оценке степени усвоения учебного материала и адаптации сценариев обучения под конкретного пользователя.

– Формализованная форма, в которой элементами хранения являются программы и структуры баз знаний. В этих элементах отражаются особенности формализмов, посредством которых выражаются структура и динамика моделей, образующих знания и факты. Выбор формализованной формы представления знаний зависит от многих фак-

торов: типа рассматриваемых систем – дискретных, непрерывных, дискретно-непрерывных; задач, решаемых в курсах автоматизированной системы, степени сложности получения вторичных знаний из первичных; сложности поддержания знаний в актуальном состоянии и др.

Имеется достаточно широкий спектр способов представления знаний в формализованной форме: логические методы, семантические сети, фреймы, продукционные системы и т. д.

Важно отметить, что не все знания подлежат формализации. Таким образом, при работе с предметной областью необходимо определить какие фрагменты подлежат формализации, выбрать способ формализации, исходя из того, это знания статические или динамические.

Определим следующие подфункции данного модуля:

1. *Первичная структуризация тексто-графического представления знаний о предметной области (S-текстово-графическая структуризация)*, т. е. представление знаний в виде текста на естественном языке и графических диаграмм, разбитого на разделы, подразделы, параграфы и т. д.

Данная структуризация выполняется экспертом в заданной предметной области и фактически представляет собой структурированный конспект лекций, элементы которого представлены в виде текста и графики.

Результаты первичной структуризации в дальнейшем анализируются инженером по знаниям. На основе анализа структурированного тексто-графического представления выделяются те компоненты предметной области, которые в дальнейшем подлежат формализации.

2. *Выделение в тексто-графической структуре составляющих, подлежащих формализации.*

3. *Построение формализованных представлений выделенных компонент знаний (S''-формализованные структурированные знания).*

4. *Установление прямых ссылок между формализованными знаниями и структурированными тексто-графическими, и наоборот $S'' \rightarrow S$.*

5. *Формирование ядра БЗ предметной области, состоящей из тексто-графических и формализованных знаний.*

6. *Анализ результатов структуризации базы знаний:*

- алгоритм проверки на противоречивость модели предметной области;
- алгоритм проверки на полноту покрытия предметной области формализованными представлениями.

7. *Формирование БД вопросов по разделам и подразделам тексто-графического представления предметной области (Q – опросник по знаниям, представленным в тексто-графической форме, Q'' – опросник по формализованным знаниям).*

Подфункции данного модуля поддерживают работу следующих пользователей: эксперта в предметной области – в части подготовки и структуризации тексто-графического материала; инженера по знаниям – в части формализации фрагментов предметной области и установления ссылок $S'' \rightarrow S$; тьютора – в части формирования списка вопросов к отдельным разделам т.-г. представления предметной области курса, а также контроля ее полноты и непротиворечивости. Алгоритм работы модуля представлен на рис. 1.

2. Функциональный модуль обучения.

Обучение – это специально организованный, управляемый процесс взаимодействия учителей и обучаемых, направленный на усвоение знаний, умений, навыков, формирование мировоззрения, развитие умственных сил и потенциальных возможностей обучаемых, закрепление навыков самообразования в соответствии с поставленными целями.

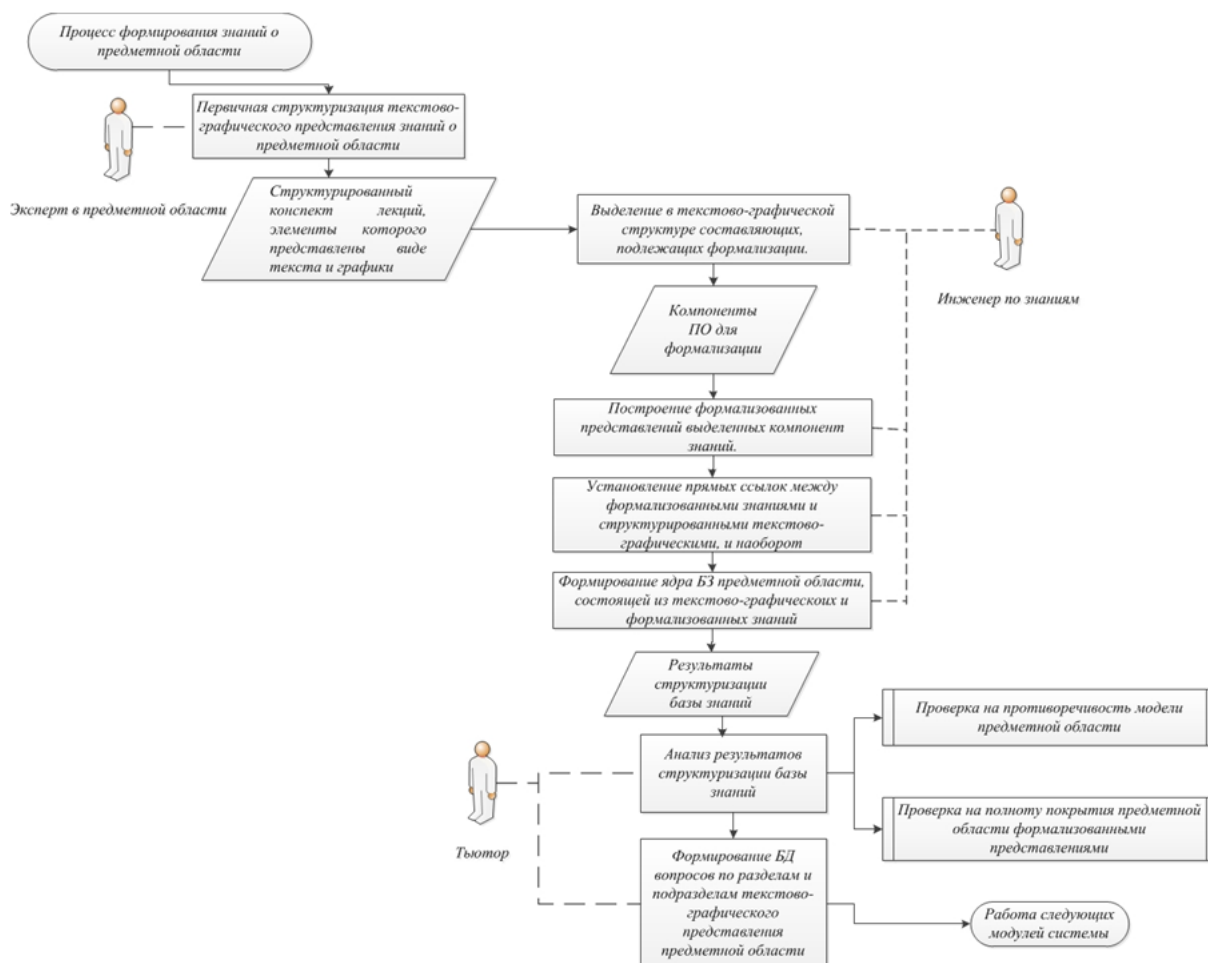


Рис. 1. Алгоритм функционального модуля формирования знаний о предметной области

Модуль обучения в АСО обладает многофункциональностью. Основными участниками в данном модуле будут ученик и тьютор, эксперт в предметной области и инженер по знаниям будут выполнять вспомогательные роли. Рассмотрим функции данного модуля более подробно.

Чтобы приступить к обучению сначала тьютор должен определить начальный уровень знаний обучаемого, для этого необходимо составить список диагностических вопросов. Функция *определения начального уровня знаний* дает возможность выбрать дальнейшую стратегию обучения. В зависимости от уровня знаний на начальном этапе обучения тьютор выполняет функцию *структуризации курса по формам обучения*, тьютор определяет количество лекционных занятий, практических и т. д.

При любой форме обучения идеальная система должна поддерживать все основные формы обучения: лекции, семинары, лабораторные занятия, практические занятия, курсовые проекты, выполнение реальных проектов.

Не все знания, представленные в тексто-графической форме, подлежат формализации, только после выделения знаний, подлежащих формализации, инженер по знаниям приступает к автоматизации процесса обучения.

Рассмотрим более подробно, как проходит процесс обучения в каждой форме, определив при этом, что подлежит автоматизации. Функция *автоматизации обучения* будет зависеть от формы обучения.

Лекции. Процесс изучения лекционного материала лекций – это процесс, в котором участвует студент и возможно присутствие тьютора. Предполагается, что учебный курс делится на ряд фрагментов – порций. На базе тексто-графической информации, по-

лученной из базы данных, сформированной экспертом в предметной области, тьютор определяет стратегию обучения, последовательность работы с разделами и предоставляет обучаемому порции текстово-графического материала учебных курсов и проводит последующее тестирование обучаемого после ознакомления с учебным материалом.

Автоматизация на данном этапе состоит в:

- организации последовательности порционного текста;
- организации выдачи определенных вопросов, после каждого шага последовательности, шаг связан с прохождением порции;
- в случае неудовлетворительного тестирования – организация процесса повторного обучения заданного фрагмента предметной области.

Семинары. Проведение семинаров углубляет знания, полученные на лекции. Докладчиком в данной форме обучения будет студент или группа студентов, которым по указанию тьютора выдается задание (подготовка презентации).

Основные функции автоматизированной поддержки – контроль выполнения всех требований к презентации при ее подготовке, отслеживание выполнения всех ограничений к презентации, фиксация результатов доклада и дискуссии, протоколирование результатов.

Лабораторные занятия, как более наглядная форма обучения, дают возможность глубже изучить заданную тематику.

Лабораторные занятия имеют четкий алгоритм выполнения, т. е. имеется прототип (шаблон) решаемой задачи. Автоматизация на данном этапе состоит в:

- организации и предоставлении порции материала, связанного с тематикой лабораторного занятия;
- предоставлении методики проведения лабораторного занятия – прототипа;
- мониторинге выполнения лабораторной работы, согласно прототипу;
- анализе полученных результатов;
- предоставлении дополнительных порций материалов в случае отрицательных результатов.

Практические занятия. Тьютор акцентирует внимание на алгоритме и методике решения задач, выполнении чертежей, схем и т. д. Решая конкретные задачи, теоретический материал усваивается глубже. Автоматизацией на данном этапе является:

- предоставление порции материала, связанного с тематикой практического занятия;
- подготовка и предоставление списка конкретных задач для заданного фрагмента предметной области;
- предоставление алгоритма и методики решения задач – шаблона или прототипа;
- анализ выполнения конкретных задач;
- предоставление дополнительных порций материалов в случае отрицательных результатов.

Курсовой проект является самостоятельной работой студента по предоставленной технологии выполнения. Тьютор оценивает результат выполнения проекта и оформление результатов. Автоматизация на данном этапе:

- предоставление порций материала для написания курсового проекта (фактически, это весь материал за семестр);
- подготовка и предоставление списка тем курсовых проектов;
- предоставление алгоритма и методики решения задач – шаблона или прототипа;
- построение жизненного цикла выполняемого курсового проекта;
- планирование результатов выполнения проекта на каждом этапе;
- мониторинг выполнения этапов жизненного цикла проекта;
- мониторинг соответствия выполнения общего плана проекта и выполнения работ на каждом этапе жизненного цикла;

– структуризация результатов выполнения проекта на каждом этапе жизненного цикла разработки.

Выполнение реальных проектов, в том числе в кооперации с промышленностью, является новой формой обучения, практикуемой ведущими мировыми университетами [7–8], и представляет собой самостоятельную работу группы студентов. При выполнении реального проекта студенты тренируют навыки командной работы, определяют стратегию выполнения проекта, жизненного цикла разработки, оформления результатов. Здесь непосредственно роль тьютора размывается и трансформируется в менеджера проекта. А структура курса обучения связывается с этапами жизненного цикла проекта. Автоматизация на данном этапе:

- подбор команды;
- распределение ролей участников команды;
- составление планов выполнения проекта для каждой роли команды;
- построение жизненного цикла выполняемого проекта;
- планирование результатов выполнения проекта на каждом этапе;
- мониторинг выполнения этапов жизненного цикла проекта;
- фиксация промежуточных результатов;
- разработка стратегий согласно выбранному жизненному циклу.

Следует отметить, что после того как тьютор определит начальный уровень знаний обучаемого, можно выбрать обучение индивидуальное или групповое. Стратегия обучения будет зависеть уровня знаний самого обучаемого, количества обучаемых в группе и т. д.

Алгоритм работы данного модуля предоставлен на рис. 2.

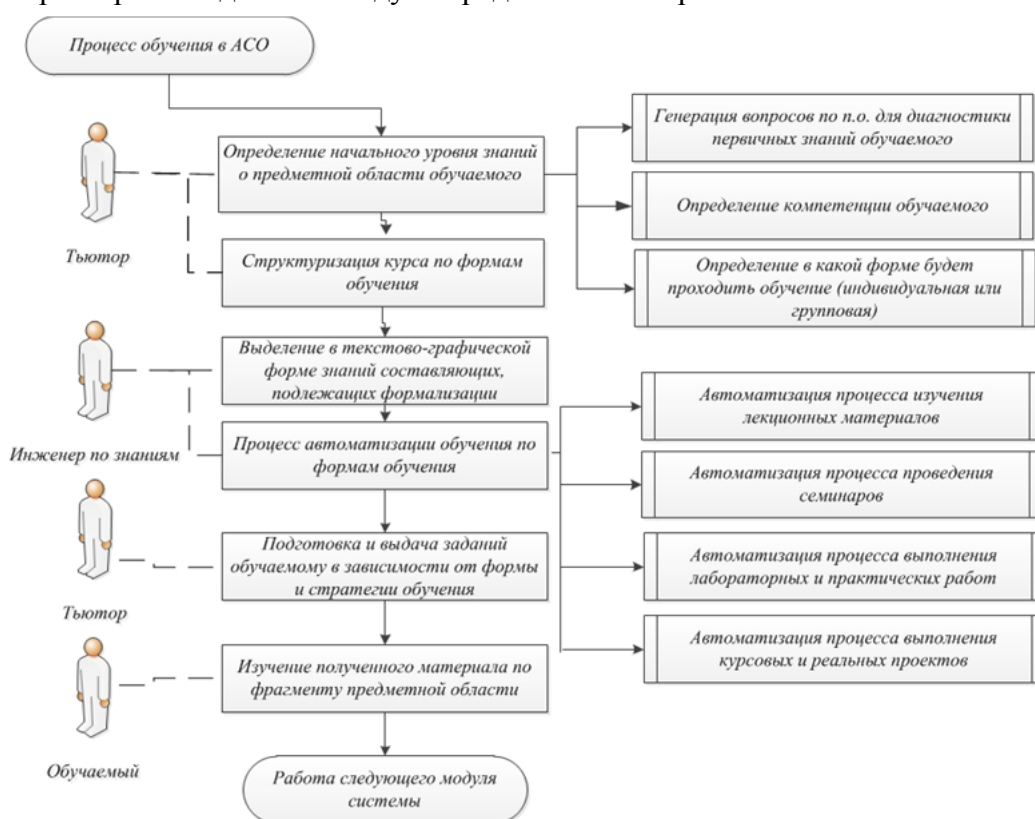


Рис. 2. Алгоритм работы функционального модуля обучения

3. Функциональный модуль контроля знаний.

Важнейшей характеристикой автоматизированных систем обучения является возможность проведения автоматизированного контроля знаний обучаемых. Контроль знаний обеспечивает обратную связь со студентом.

Целью контроля является определение качества усвоения учащимися программного материала, диагностирование и корректирование их знаний и умений, воспитание ответственности к учебной работе. Для выяснения роли контроля в процессе обучения рассматривают его наиболее значимые функции: обучающую, диагностическую, прогностическую, развивающую, ориентирующую и воспитывающую.

Контроль должен быть: целенаправленным, объективным, всесторонним, регулярным.

Для эффективного обучения в АСО должны использоваться:

- *промежуточный* контроль во время учебного семестра для корректировки работы студента и тьютора;
- *итоговый контроль* проводится в конце семестра для фиксации уровня знаний обучаемого.

Важно отметить, что промежуточный и итоговый контроли в АСО проводятся только с теми фрагментами предметной области учебного курса, которые подлежат формализации. Так можно обеспечить семантическую связь с предметной областью.

Промежуточный контроль проводится регулярно при изучении предметной области курса при всех формах обучения: лекции, семинары, практические и лабораторные работы, курсовые и реальные проекты. На основе анализа полученных ответов на поставленные вопросы корректируется дальнейшая работа студента. При положительном результате студенту предоставляют новую порцию знаний для изучения. При выявлении большого рассогласования в полученных ответах, студенту предоставляют текстографический материал для доработки.

Промежуточный контроль над уровнем знаний учащихся стимулирует повышение качества обучения за счет усиления акцента на трудных для усвоения положениях. Схема проведения промежуточного контроля знаний представлена на рис. 3.

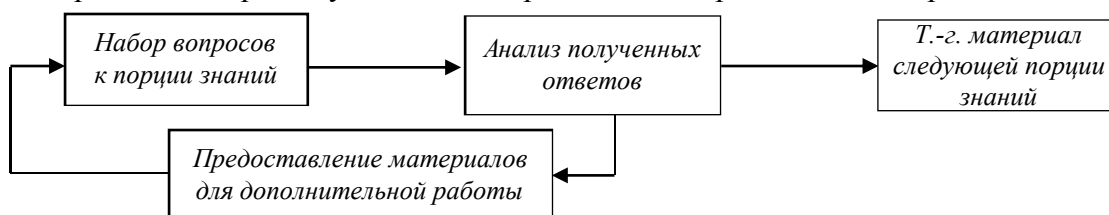


Рис. 3. Схема проведения промежуточного контроля знаний

Итоговый контроль изученного материала проводится только при положительном прохождении всех промежуточных контролей, на выходе фиксируется результат - студент получает оценку. Схема проведения итогового контроля знаний представлена на рис. 4.

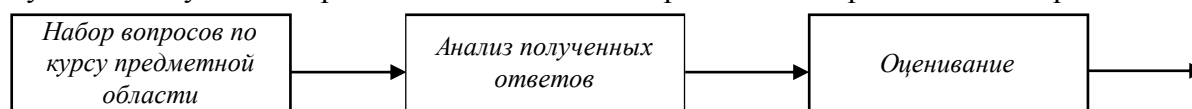


Рис. 4. Схема проведения итогового контроля знаний

Особенностью промежуточного и итоговых контролей в АСО является его возможность проведения только в формализованных представлениях предметной области.

Общая схема проведения контроля знаний включает подготовку заданий для контроля и самотестирование. Подготовка зависит от выбора способа формализации знаний. В процессе тестирования чаще всего используют уже существующие системы тестирования, такие как My TestX, KTest, OpenTest, E-test и др. Платные и бесплатные системы тестирования поддерживают применение различных типов вопросов, чаще - их комбинации.

Следует отметить, что контроль оформления результатов этих форм обучения является функциональной обязанностью тьютора и должен быть подкреплен либо определенными стандартами, либо учебно-методическими пособиями по выполнению данных видов работ.

База знаний является ядром АСО, поэтому система обучения является знание-ориентированной. База данных в АСО – это особого рода база данных, разработанная для управления всеми знаниями о предметной области, то есть сбором, хранением, поиском и выдачей знаний. Интеграция всех модулей системы и взаимодействие пользователей системы представлено на рис. 5.

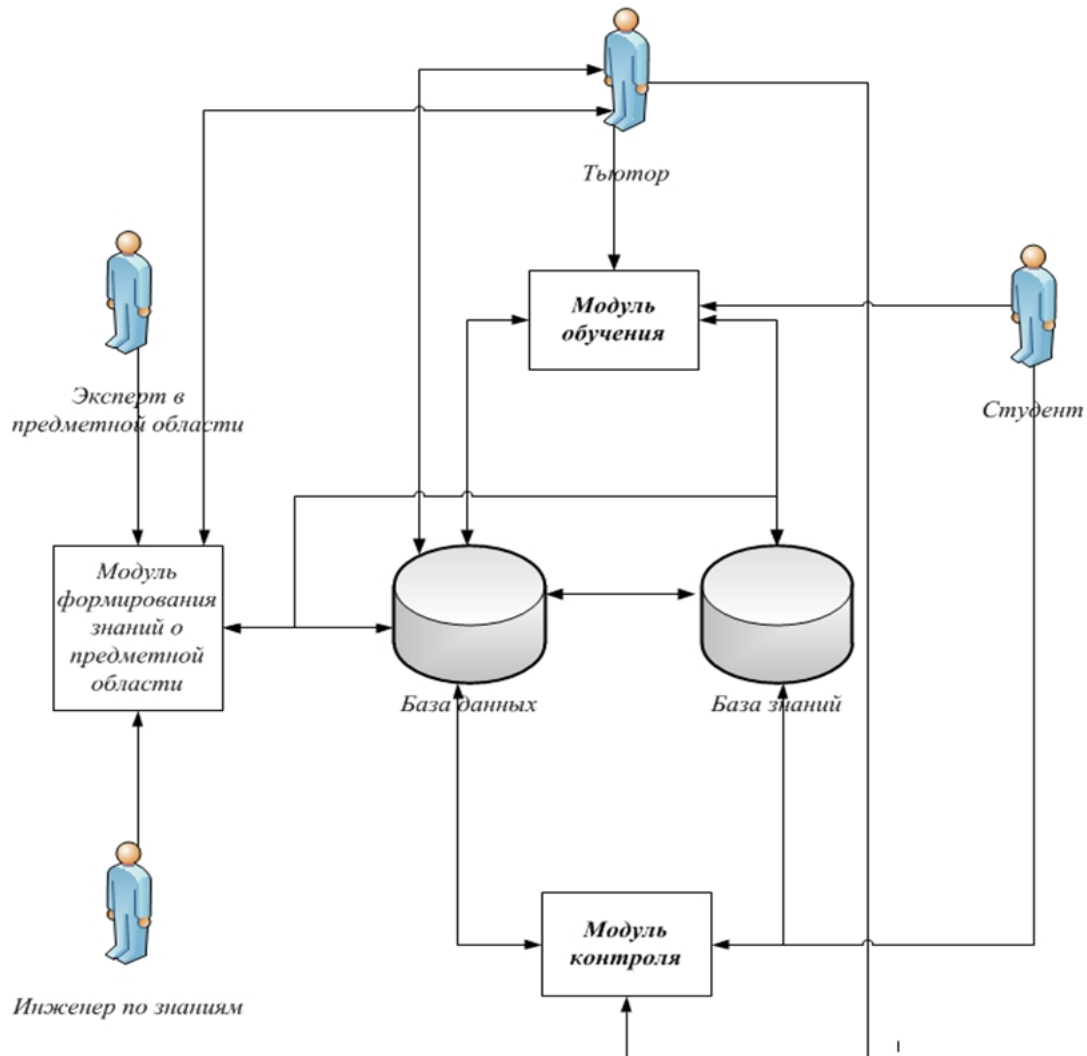


Рис. 5. Взаимосвязь модулей АСО

Выводы. Такая архитектура автоматизированной системы обучения выходит за рамки существующих систем. Активное использование формализованных представлений предметной области курса позволяет автоматизировать процесс обучения на всех формах обучения, а не только процесс изучения лекционного материала. Автоматизированный контроль знаний, а именно использование промежуточного и итогового контролей, повысит уровень усвоения материалов курса и эффективность обратной связи со студентом.

Список использованных источников

1. Могилів А. В. Інформатика : [підручник] / А. В. Могилів. – М. : Академія, 1999. – 256 с.
2. Петрушин В. А. Интеллектуальные обучающие системы: архитектура и методы реализации (обзор) / В. А. Петрушин // Техническая кибернетика. – 1993. – № 2. – С. 164–189.
3. Растринин Л. А. Адаптивное обучение с моделью обучаемого : [учебное пособие] / Л. А. Растринин, М. Х. Эренштейн. – Рига : Зинатне, 1988. – 160 с.
4. Томашевський В. М. Аналіз моделей навчання та контролю знань / В. М. Томашевський, І. М. Дмитрик // Вісник НГУУ «КП». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2008. – № 49. – С. 146–151.

5. Соловов А. В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения : [учебное пособие] / А. В. Соловов. – Самара : СГАУ, 1995. – 138 с.
6. Vitalii Lytvynov. Knowledge representation in the automated learning systems / Vitalii Lytvynov, Iryna Posadska // International Journal “Information Technologies & Knowledge”. – 2015. – Volume 9, Number 1. – Pp. 34–43.
7. Tool-based support of university-industry cooperation in IT-engineering / V.V. Lytvynov, V.S. Kharchenko, S.V. Lytvyn, M.V. Saveliev, E.V. Trunova, I.S. Skiter. – Chernihiv : CNUT, 2015. – 108 p.
8. Моделі кооперації університетів та IT-компаній: системи прийняття рішень на нечіткій логіці : [монографія] / Ю. П. Кондратенко, Г. В. Кондратенко, Є. В. Сіденко, В.С. Харченко. – Х. : ХАІ, 2015. – 133 с.

References

1. Mohylyiv, A.V. (1999). *Informatyka [Computer Science]*. Moscow: Akademiia (in Ukrainian).
2. Petrushin, V.A. (1993). Intellektualnye obuchayushchie sistemy: arkhitektura i metody realizatsii (obzor) [Intelligent learning systems: architecture and implementation methods (review)]. *Tekhnicheskaya kibernetika – Technical Cybernetics*, no. 2, pp. 164–189 (in Russian).
3. Rastrigin, L.A., Erenshcheyn, M.Kh. (1988). Adaptivnoe obuchenie s modeli obuchayemogo [Adaptive learning with student model]. Riga: Zinatne (in Russian).
4. Tomashevskiy, V.M., Dmytryk, I.M. (2008). Analiz modelei navchannia ta kontroliu znan [Analysis of learning models and knowledge control]. *Visnyk NTUU «KPI». Informatyka, upravlinnia ta obchysluvalna tekhnika – Journal of of NTUU “KPI”. Computer Science, Management and Computing*, no. 49, pp. 146–151 (in Ukrainian).
5. Solovov, A.V. (1995). *Proektirovanie kompiuternykh sistem uchebnogo naznacheniiia [Design of computer systems of educational purposes]*. Samara: SGAU, (in Russian).
6. Vitalii Lytvynov, Iryna Posadska (2015). Knowledge representation in the automated learning systems. *International Journal “Information Technologies & Knowledge”*, vol. 9, no. 1, pp. 34–43.
7. Lytvynov, V.V., Kharchenko, V.S., Lytvyn, S.V., Saveliev, M.V., Trunova, E.V., Skiter, I.S. (2015). *Tool-based support of university-industry cooperation in IT-engineering*. Chernihiv: CNUT.
8. Kondratenko, Yu.P., Kondratenko, H.V., Sidenko, Ye.V., Kharchenko, V.S. (2015). *Modeli kooperatsii universitetiv ta IT-kompanii: systemy pryiniattia rishen na nechtikii lohitsi [Models of cooperation between universities and IT-companies: decision making systems based on fuzzy logic]*. Kharkiv: KhAI (in Ukrainian).

Литвинов Виталий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14000, Украина).

Литвинов Віталій Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14000, Україна).

Lytvynov Vitalii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vlitvin@ukrsoft.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9622-3871>

Посадская Ирина Сергеевна – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14000, Украина).

Посадська Ірина Сергіївна – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет, (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14000, Україна).

Posadska Iryna – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: irrkin@gmail.com

Савельев Максим Владимирович – мл. науч. сотр., Институт проблем математических машин и систем Национальной академии наук Украины (просп. Глушкова, 42, г. Киев, 03680, Украина).

Савельев Максим Володимирович – мол. наук. співроб., Інститут проблем математичних машин і систем Національної академії наук України (просп. Глушкова, 42, м. Київ, 03680, Україна).

Saveliev Maxim – Research Assistant, Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the Ukraine National Academy of Science (42 Glushkova Av., 03680 Kiev, Ukraine).

E-mail: saveliev.maxim@gmail.com

Володимир Войтенко, Ігор Білорус

НАВЧАЛЬНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД „INEL-STM”

Владимир Войтенко, Игорь Белорус

УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД „INEL-STM”

Volodymyr Voytenko, Ihor Bilorus

INEL-STM EDUCATION BOARD

На початку 1990-х років у розвитку мікропроцесорної техніки відбувся стрибок, який став реакцією розробників та виробників інтегрованих схем (ІС) на появу нових ринків з високим ступенем інтелектуальної складової. Однією з відповідей на виклик стала поява мікропроцесорів та мікроконтролерів з архітектурою ARM. Зважаючи на поширеність процесорних ядер ARM та зростаючу кількість задач, вирішення яких покладають саме на застосування цих мікроконтролерів, надзвичайно актуальним питанням для вищої освіти України стала гарна теоретична та практична підготовка фахівців, здатних розробляти електронні системи із застосуванням ІС з архітектурою ARM. Стаття присвячена особливостям розробленого навчального лабораторного стенда „Inel-STM”, який також може бути використаний для створення різноманітних систем керування, зв'язку, відображення інформації та проведення наукових досліджень.

Ключові слова: мікроконтролери з архітектурою ARM, інструментальне та прикладне програмне забезпечення, системи автоматичного керування, системи відображення інформації.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 12.

В начале 1990-х годов в развитии микропроцессорной техники произошел скачок, который стал реакцией разработчиков и производителей интегральных схем (ИС) на появление новых рынков с высокой степенью интеллектуальной составляющей. Одним из ответов на вызов стало появление микропроцессоров и микроконтроллеров с архитектурой ARM. Учитывая распространенность процессорных ядер ARM и растущее количество задач, решение которых возлагают именно на применение этих микроконтроллеров, чрезвычайно актуальным вопросом для высшего образования Украины стала хорошая теоретическая и практическая подготовка специалистов, способных разрабатывать электронные системы с применением ИС с архитектурой ARM. Статья посвящена особенностям разработанного учебного лабораторного стенда "Inel-STM", который также может быть использован для создания различных систем управления, связи, отображения информации и проведения научных исследований.

Ключевые слова: микроконтроллеры с архитектурой ARM, инструментальное и прикладное программное обеспечение, системы автоматического управления, системы отображения информации.

Рис.: 5. Табл.: 1. Библ.: 12.

In the early 1990s it is jump occurred in the development of microprocessor technology, which was a reaction of developers and manufacturers of ICs on the emergence of new markets with a high degree of intellectual component. One of the responses to the challenge of the emergence of microprocessors and microcontrollers with ARM architecture. Given the prevalence of ARM processor cores and a growing number of tasks which lay precisely on the application of these microcontrollers, extremely important issue for higher education in Ukraine has become a good theoretical and practical training of specialists capable of once-treated with electronic systems using integrated circuits with ARM® 32-bit RISC core architecture. The article is devoted to the peculiarities of the developed Inel-STM Education Board, which can also be used for the designing of different control systems, communications, information displays, as well as scientific research.

Key words: ARM microcontroller architecture, tool and application software, automatic control system, display system.

Fig.: 5. Tabl.: 1. Bibl.: 12.

Постановка проблеми. Розвал Радянського Союзу поклав тимчасово (на певному витку історичної спіралі) кінець холодній війні між Заходом та комуністичними режимами. Частково вивільнений від вирішення поточних завдань підтримки міжнародної безпеки науковий, технічний та творчий потенціал країн з розвиненою економікою виплеснувся у створення нових видів товарів, послуг та розвиток особистості. Зокрема, були сформовані нові сегменти ринку електронних пристроїв та систем. Це – портативні комп'ютери, мобільні телефони, навігатори, засоби комунікації, ігрові та телевізійні приставки, побутові і промислові засоби управління процесами. Зростання потреб у нових приладах з наперед заданими ринком властивостями стимулювало активний розвиток технологій ASIC (*Applications Specific Integrated Circuit*) і ASSP (*Applications Specific Standard Products*) та створення на їх основі все нових спеціалізованих приладів.

У 1990 р. була заснована компанія ARM (*Acorn RISC Machines*), яка до сьогодні є однією з найуспішніших компаній *fabless* типу, тобто тих, що не мають власних виробничих потужностей. Головним здобутком компанії стали її 32-розрядні мікропроцесорні ядра, які нині застосовують багато виробників мікропроцесорів і мікроконтролерів, у

т. ч. – знані лідери ринку, які мають власні пропріетарні розробки, однак витрачають гроші, купуючи ліцензії на використання конкуруючих ядер ARM у кількості декількох мільярдів одиниць щорічно.

Надзвичайне поширення мікроконтролерів з архітектурою ARM ставить гостро питання підготовки спеціалістів, здатних розробляти апаратне та програмне забезпечення електронних систем, у яких застосовуються відповідні ІС. Якісна підготовка неможлива без використання сучасного лабораторного обладнання, яке потребує чималих коштів. Можливим вирішенням проблеми забезпечення освітнього процесу могли б стати самостійні розробки та виготовлення лабораторних стендів, побудованих на мікроконтролерах з архітектурою ARM.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За час, що минув з моменту надання рекомендацій розробникам електронних систем, викладачам та студентам технічних ВНЗ України [1], задачі, які вирішують мікроконтролери у пристроях промислової електроніки, істотно не змінилися. Проте завдяки вдосконаленню технологій розробки та виготовлення ІС суттєво покращилися основні характеристики і параметри мікроконтролерів. До того ж з'явилися нові технології програмування та завантаження резидентної пам'яті, які вимагають запровадження в навчальний процес відповідного лабораторного устаткування. Існує багато апаратних пристроїв для налагодження програмного забезпечення мікроконтролерів з архітектурою ARM і використання в освітньому процесі, наприклад [2]. Більш нові подібні пристрої [3; 4] мають певні вади для застосування в освітньому процесі, такі як обмежений набір апаратних засобів, а отже, – функціональність, особливо, з погляду дослідження систем керування, сучасних інтерфейсів або систем відображення інформації. Це потребує розроблення додаткових апаратних та програмних модулів розширення тощо, які переважним чином мають імпортуватися. В цьому випадку гостро постає питання економічної доцільності модернізації навчальних лабораторій. Альтернативний шлях – це розроблення та виготовлення начального обладнання в Україні, що додатково зменшує видатки на інтелектуальну власність та у перспективі дає можливість виходу з наукоємною продукцією на ринки інших країн. Застосування мікроконтролера з апаратною підтримкою операцій цифрової обробки сигналу, а також з вбудованим співпроцесором з плаваючою комою, крім того, дозволяє оновити базу лабораторних та наукових досліджень, що базуються на сигнальних процесорах [5; 6].

Мета статті. Метою роботи є поширення досвіду розроблення та впровадження в освітній процес та наукові дослідження навчального лабораторного стенда „*Inel-STM*” на основі мікроконтролера з архітектурою вбудованого процесора *ARM® Cortex®-M4*.

Структура лабораторного стенда. Лабораторний стенд „*Inel-STM*” призначений для практичного ознайомлення з архітектурою вбудованого процесора *ARM® Cortex®-M4* та отримання навичок розробки програмного та апаратного забезпечення мікропроцесорних та спеціалізованих комп'ютерних систем на їхній основі. Крім того, лабораторний стенд „*Inel-STM*” дозволяє вивчати, розробляти а також досліджувати системи керування, вимірювальні, охоронні, біомедичні та інші електронні системи із застосуванням різноманітних електронних компонентів, які можуть бути підключені до наявних інтерфейсів.

Структурна схема лабораторного стенда „*Inel-STM*” наведена на рис. 1.

Для створення вхідного програмного модуля, його трансляції та налагодження за допомогою крос-засобів використовується персональний комп'ютер. Завантаження програми у резидентну пам'ять мікроконтролера здійснюється через інтерфейс *SWD*, який пов'язується з персональним комп'ютером за допомогою *ST-Link* [7]. Це дозволяє підключати стенд до персонального комп'ютера та подавати живлення на нього за допомогою відповідного кабелю через роз'єм USB XP2.

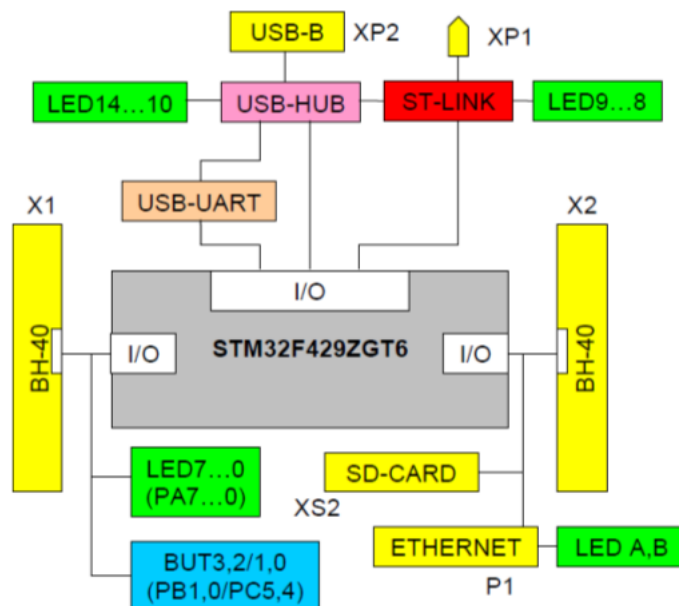


Рис. 1. Структура лабораторного стенда „Inel-STM”

„Inel-STM” є спеціалізованою комп’ютерною системою з відкритою архітектурою на основі мікроконтролера *STM32F429ZGT6* у корпусі *LQFP144*, до виводів якого підключені інші вузли та окремі ІС.

Стенд „Inel-STM” містить такі роз’єми розширення:

- USB-роз’єм Тип В (XP2) – послідовний інтерфейс ST-Link для зв’язку з персональним комп’ютером під час програмування, а також для живлення „Inel-STM”;
- мережевий роз’єм ETHERNET P1 (типу 8P8C або “RJ-45”) – послідовний порт для підключення „Inel-STM” до комп’ютерної мережі;
- два роз’єми системного інтерфейсу (штирьові роз’єми X1 та X2 типу BH-40), на які виведена частина ніжок МК *STM32F429ZGT6*, що дозволяє істотно змінювати функціональні можливості „Inel-STM” за рахунок підключення додаткових плат розширення;
- роз’єм XS2 для підключення карт пам’яті стандарту MicroSD. Розміщений на нижній стороні плати „Inel-STM” під одиничними індикаторами HL7...HL0;
- роз’єм XP1 для завантаження та налагодження іншого мікроконтролера STM32 на зовнішній платі, використовуючи інтерфейс SWD.

Логіку завантаження резидентної пам’яті основного МК стенда „Inel-STM” *STM32F429ZGT6* реалізовано за допомогою допоміжного МК *STM32 F103C8T6* з 32-бітною архітектурою *ARM® Cortex®-M3*. Цей мікроконтролер формує керуючі сигнали для вбудованого програматора ST-LINK/V2-B, задає режими роботи тощо.

USB ST-LINK підтримує два різні інтерфейси:

- інтерфейс пристрою пам’яті (*mass storage*);
- порт відлагодження.

Для роботи ST-LINK/V2-B потрібен спеціальний драйвер USB, який для Windows® XP, 7, 8, 10 можна знайти на сайті виробника мікроконтролера [7]. ST-LINK/V2-B має механізм оновлення вбудованого програмного забезпечення для прошивки через порт USB. Цю процедуру під час використання стенда „Inel-STM”, рекомендується робити періодично, щоб підтримувати останню версію прошивки ST-LINK/V2-B (встановлення нових функціональних можливостей, виправлення помилок, підтримка нових сімейств мікроконтролерів тощо).

ST-LINK/V2-B у стенді „Inel-STM” підтримує віртуальний COM-порт (VCP), який підключений до USART1 (PA9, PA10) головного мікроконтролера *STM32F429* для під-

тримки платформи розробки приладів «інтернет-речей» на базі мікроконтролера ARM *mbed* [8]. Для роботи віртуального COM-порту необхідно завантажити та встановити драйвер віртуального COM-порту на основі інтегрованої схеми *Silab-CP2102* – мосту між *USB* та *UART* [9]. STMicroelectronics також пропонує безкоштовну утиліту для персонального комп'ютера, яка працює на операційних системах Microsoft® і призначена для завантаження флеш-пам'яті мікроконтролерів у режимі внутрішньосистемного програмування [10].

Інтерфейс оператора у стенді „*Inel-STM*” утворюють такі елементи:

- кнопки SB4...SB1, які підключені безпосередньо до портів PB1, PB0 та PC5, PC4 головного мікроконтролера STM32F429;
- одиничні індикатори червоного кольору HL7...HL0 (User), підключені безпосередньо до портів PA7... PA0 головного мікроконтролера STM32F429;
- одиничні індикатори жовтого кольору HL8, HL9 (ST-LINK). Під час під'єднання до USB-кабелю персонального комп'ютера HL9 починає мерехтати, сигналізуючи про встановлення зв'язку;
- одиничні індикатори зеленого кольору HL14...HL11 (USB-HUB). Під час під'єднання до USB-кабелю персонального комп'ютера HL14 та HL11 постійно світяться;
- одиничні індикатори жовтого та зеленого кольору LED9 та LED8, вмонтовані безпосередньо в роз'єм ETHERNET P1. Вмикаються за умови під'єднання стенда „*Inel-STM*” до комп'ютерної мережі.

Зовнішній вигляд лабораторного стенда „*Inel-STM*” наведено на рис. 2. Габаритні розміри стенда становлять 100×95×25 мм.

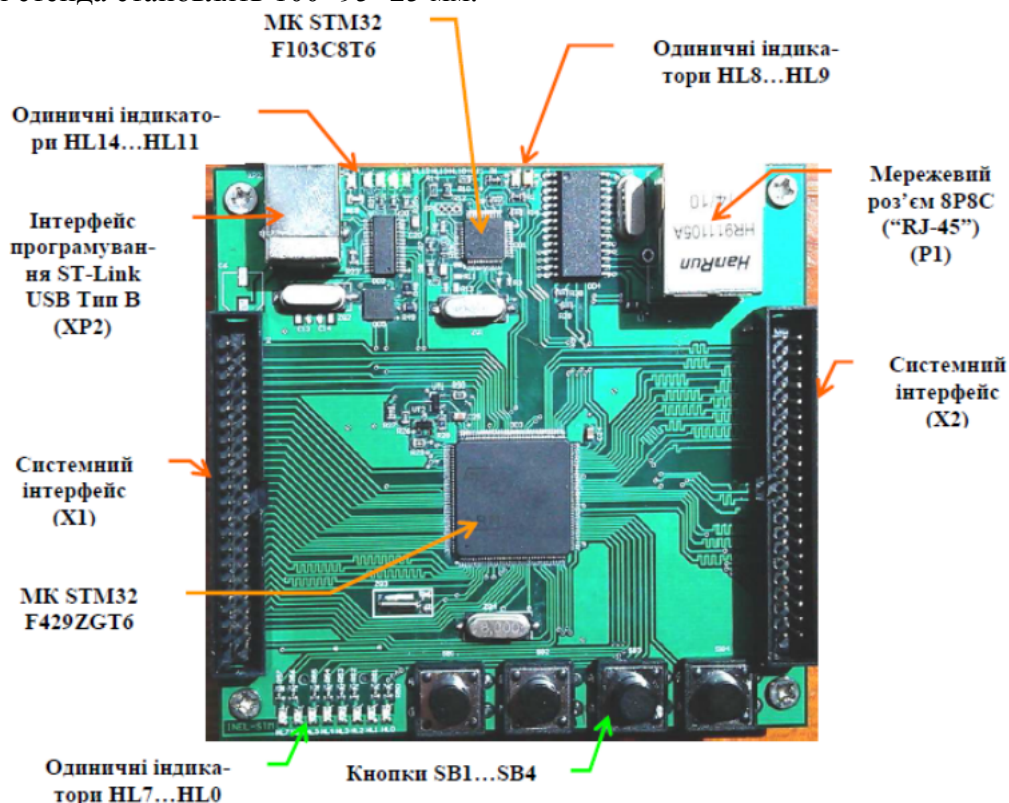


Рис. 2. Зовнішній вигляд лабораторного стенда „*Inel-STM*”

Базова плата розширення. До системної шини стенда „*Inel-STM*” може бути під'єднано одну з кількох модифікацій плат розширення. Базова плата розширення „*Inel-CBI*” (рис. 3) призначена для проведення лабораторних досліджень систем відображення інформації.

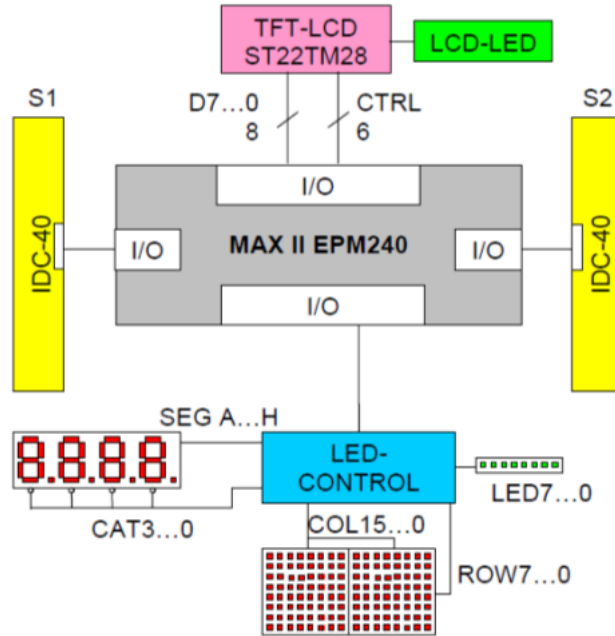


Рис. 3. Структура плати розширення „Inel-CBI”

Базова плата розширення містить два 40-контактних роз’єми S1 та S2, які відповідають роз’ємам X1 та X2 станда „Inel-STM”. Сигнали системного інтерфейсу, що генерує головний мікроконтролер STM32F429, поступають на виводи програмованої логічної інтегрованої схеми (ПЛІС) сімейства MAX II EPM240 у корпусі TQFP з 100 виводами. Ця ПЛІС містить 240 логічних елементів, які сконфігуровані для виконання функції дешифратора адрес для доступу до таких пристроїв:

- 1) кольорового рідинно-кристалічного індикатора (РКІ) з тонкоплівковими транзисторами (TFT-LCD) типу ST22TM28 з діагоналлю екрана 2,2" (56 мм). Індикатор містить 240 кольорових точок (RGB), розміщених у 320 рядках, тобто має роздільність QVGA (Quarter Video Graphics Array). Такі дисплеї нині поширені в мобільних пристроях;
- 2) чотирьохрозрядного семисегментного (SEG A...H) індикатора зі спільними катодами (CAT3...0) знакомісць на основі світловипромінювальних діодів типу LDQ-N3606RI;
- 3) двох матричних індикаторів типу GYXM-788ASR на основі світловипромінювальних діодів з кількістю точок 8×8 з підключенням 16 стовпчиків (COL15...COL0) у 8 рядків (ROW7...ROW0);
- 4) лінійки з восьми одиничних елементів відображення LED7...LED0 на основі світловипромінювальних діодів.

Зовнішній вигляд базової плати розширення наведено на рис. 4.

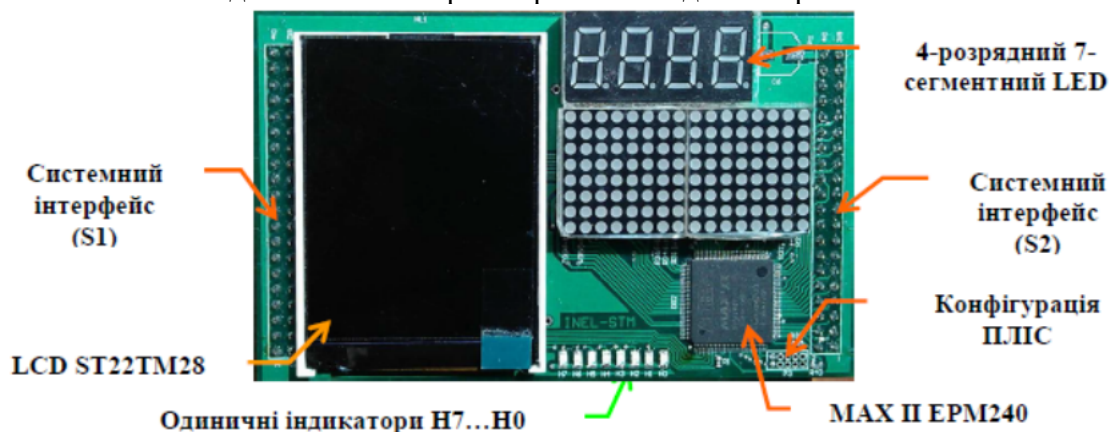


Рис. 4. Зовнішній вигляд плати розширення „Inel-CBI”

Габаритні розміри базової плати розширення становлять 100×60×17 мм.

Особливості роботи з індикаторами плати розширення „Inel-CBI”. У платі розширення „Inel-CBI” використовується паралельний інтерфейс з рідинно-кристалічним індикатором (РКІ) ST22TM28 у складі:

- 8-розрядної шини даних D7... D0;
- сигналу вибору кристалу /CS;
- сигналу вибору регістра RS;
- сигналу стробування запису /WR;
- сигналу стробування читання /RD;
- сигналу скидання РКІ /LCD_RESET.

В адресному просторі введення/виведення стенда „Inel-STM” РКІ займає комірки пам’яті відповідно до таблиці.

Таблиця

Адресація елементів рідинно-кристалічного індикатора

Адреса	Ім’я	Кількість розрядів	Коментар
0x60000020	/LCD_LED	1	Підсвічування РКІ
0x60000021	LCD_RESET	1	Скидання РКІ
0x64000000	LCD_REG8	8	Команди РКІ
0x64000001	LCD_DAT8	8	Дані РКІ

Для того, щоб увімкнути підсвічування РКІ, необхідно до комірки з адресою 0x60000020 записати байт, молодший біт якого буде скинутий до 0. Скидання власне РКІ виникає, коли до комірки з адресою 0x60000021 записується байт, в якому молодший біт встановлений у 1.

У наявному модулі РКІ ST22TM28 застосовується ІС-контролера/драйвера кольорового дисплея ILI9328 від фірми ILI Technology Corp. [11].

Сигнал вибору регістра RS=1 забезпечує доступ на завантаження даних у контролер РКІ (при /WR=0) або читання даних (при /RD=0). Коли центральний процесор формує RS=0, можливе або завантаження команди (при /WR=0), або читання стану контролера РКІ (при /RD=0). Іноді сигнал RS називають D/C, щоб підкреслити його призначення (дані або /команди). Слід зазначити, що певна операція закінчується після завершення

переходу відповідного стробу (/WR або /RD) з 0 до 1.

Лінійка з 8 світлодіодів на платі розширення має 8-розрядний формат даних з адресою 0x60000001. Чотирирозрядний семисегментний індикатор в адресному просторі системи займає дві комірки:

- 8-розрядів сегментів з адресою 0x60000002;
- 4-розряди вибору знакоміць з адресою 0x60000003.

Зовнішній вигляд стенда „Inel-STM” під час спільної роботи з базовою платою розширення наведено на рис. 5.

Подальша робота передбачає розроблення плат розширення для підключення передавальної камери, драй-

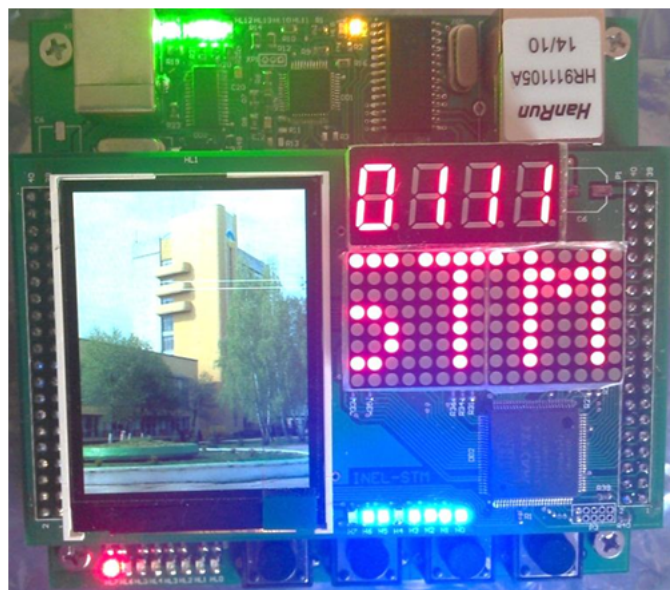


Рис. 5. Зовнішній вигляд стенда „Inel-STM” під час спільної роботи з базовою платою розширення „Inel-CBI”

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

верів електродвигунів, силових каскадів тощо, а також використання стенда для наукових досліджень, зокрема, у галузі систем керування інтелектуальними баластами світловипромінювальних діодів [12], де потрібні потужні контролери з розвинутими інтерфейсними засобами.

Висновки і пропозиції. Розроблено, виготовлено та проведено успішні випробування стенда „*Inel-STM*”, який має суттєво покращити якість викладання та вивчення таких дисциплін, як «Мікропроцесорна техніка», «Системи відображення інформації», «Програмне забезпечення спеціалізованих комп’ютерних систем» та ін. Наступні кроки мають бути пов’язані з підготовкою навчально-методичної документації та запровадженням стенда у сферу досліджень інтелектуальних промислових регуляторів.

Список використаних джерел

1. *Войтенко В. П.* Мікроконтролери для пристроїв промислової електроніки / В. П. Войтенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2001. – № 13. – С. 130–134.
2. LPC2148 Education Board. User’s Guide. – Embedded Artists AB, 2007.
3. STM32 Nucleo-144 development board with STM32F429ZI MCU, supports Arduino, ST Zio and morpho connectivity. User manual UM1974. DocID028599 Rev 2. – STMicroelectronics, 2016.
4. Discovery kit with STM32F429ZI MCU. User manual UM1670. DocID025175 Rev 2. – STMicroelectronics, 2016. – 36 p.
5. *Войтенко В. П.* Сигнальні процесори в оптимальних системах керування / В. П. Войтенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2004. – № 21. – С. 196–200.
6. *Войтенко В. П.* Сигнальний процесор в системі управління підвищуючим квазірезонансним преобразователем / В. П. Войтенко, М. А. Хоменко // Технічна електродинаміка. Тем. випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. – 2012. – Ч. 2. – С. 101–106.
7. ST-LINK/V2 in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.st.com/en/development-tools/st-link-v2.html?icmp=t3469_gl_qron_apr2016.
8. The ARM mbed IoT Device Platform [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.mbed.com/en>.
9. CP210x USB to UART Bridge VCP Driver [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBtoUARTBridgeVCPDrivers.aspx>.
10. STM32 ST-LINK utility [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.st.com/content/st_com/en/products/embedded-software/development-tool-software/stsw-link004.html.
11. ILI9328. a-Si TFT LCD Single Chip Driver. 240RGBx320 Resolution and 262K color. Version: V1.02. Document No.: ILI9341_DS_V1.02.pdf. ILI Technology Corp.
12. *Войтенко В.* Система керування для дослідження інтелектуальних баластів світловипромінювальних діодів / В. Войтенко, С. Яценко // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). – С. 175–183.

References

1. Voytenko, V.P. (2001). Mikrokontrolery dlia prystroiv promyslovoi elektroniky [Microcontrollers for the industrial electronics devices]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 13, pp. 130–134 (in Ukrainian).
2. LPC2148 Education Board. User’s Guide. Embedded Artists AB, 2007.
3. STM32 Nucleo-144 development board with STM32F429ZI MCU, supports Arduino, ST Zio and morpho connectivity. User manual UM1974. DocID028599 Rev 2. STMicroelectronics, 2016.
4. Discovery kit with STM32F429ZI MCU. User manual UM1670. DocID025175 Rev 2. STMicroelectronics, 2016.
5. Voytenko, V.P. (2004). Syhnalni protsesory v optymalnykh systemakh keruvannia [Signal Processors in the optimal control systems]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 21, pp. 196–200 (in Ukrainian).

6. Voytenko, V.P., Khomenko, M.A. (2012). Signalnyi protcessor v sisteme upravleniia povyshaiushchim kvazirezonsnym preobrazovatelem [Signal processor in the control system of the quasiresonant step-up converter]. *Tekhnichna elektrodynamika. Tem. vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist" – Technical Electrodynamics, Special issue "Power Electronics and Energy Efficiency"*, part 2, pp. 101–106 (in Russian).
7. ST-LINK/V2 in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32. Retrieved from http://www.st.com/en/development-tools/st-link-v2.html?icmp=t3469_gl_qron_apr2016.
8. The ARM mbed IoT Device Platform. Retrieved from <https://www.mbed.com/en/>.
9. CP210x USB to UART Bridge VCP Driver. Retrieved from <https://www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBtoUARTBridgeVCPDrivers.aspx>.
10. STM32 ST-LINK utility. Retrieved from http://www.st.com/content/st_com/en/products/embedded-software/development-tool-software/stsw-link004.html.
11. ILI9328. a-Si TFT LCD Single Chip Driver. 240RGBx320 Resolution and 262K color. Version: V1.02. Document No.: ILI9341_DS_V1.02.pdf. ILI Technology Corp.
12. Voytenko, V., Yatsenko, S. (2016). Systema keruvannia dlia doslidzhennia intelektualnykh balastiv svitlovyvprominiuvalnykh diodiv [Research control system for the intelligent ballast of light-emitting diodes]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (4), pp. 175–183 (in Ukrainian).

Войтенко Володимир Павлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Войтенко Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Voytenko Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: volodymyr.voytenko@inel.stu.cn.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1490-0600>

ResearcherID: F-8698-2014

Scopus Author ID: 36167678700

Білорус Ігор Миколайович – інженер, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Белорус Игорь Николаевич – инженер, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bilorus Ihor – engineer, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: belorusprom@gmail.com

*Олег Заріцький***ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ БАЗОВИХ ПРАВИЛ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ***Олег Заріцький***ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ БАЗОВЫХ ПРАВИЛ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ***Oleg Zaritskyi***THEORETICAL BASIS OF STANDARDIZING OF BASIC RULES OF EXPERT SYSTEM OF PROFESSIONAL ACTIVITY ANALYTICAL ESTIMATION**

Представлено результати формалізації теоретичних принципів розроблення шаблонів правил експертної системи класифікації та аналітичного оцінювання професійної діяльності з використанням декларативної мови програмування – CLIPS.

Ключові слова: *аналіз роботи, оцінювання професійної діяльності, експертна інформаційна система, декларативна мова програмування, CLIPS.*

Рис.: 1. Бібл.: 9.

Представлены результаты формализации теоретических принципов разработки шаблонов правил экспертной системы классификации и аналитической оценки профессиональной деятельности с использованием декларативного языка программирования – CLIPS.

Ключевые слова: *анализ работы, оценка профессиональной деятельности, экспертная информационная система, декларативный язык программирования, CLIPS.*

Рис.: 1. Библ.: 9.

In the article the results of theoretical principal of development of professional activity qualification and analytical estimation expert information system using declarative programming language - CLIPS are presented.

Key words: *job analysis, professional activity estimation, expert information system, declarative programming language, CLIPS.*

Fig.: 1. Bibl.: 9.

Постановка проблеми. Теоретичні основи формалізації структури експертної системи класифікації та аналітичної оцінки професійної діяльності, розглянуті в роботі [1], дозволили зробити висновки щодо актуальності питання розроблення зазначених інформаційних систем, заснованих на правилах, що обумовлено слабкою формалізацією сутностей, які описують варіативну частину моделі професійної діяльності [2].

Основними завданнями в межах розроблення експертної системи в будь-якій галузі, у тому числі і для задач класифікації та аналітичного оцінювання професійної діяльності, є завдання розроблення відповідної бази знань, механізмів її наповнення та інтеграції блока робочої пам'яті з модулем алгоритмів роботи із сутностями, тобто інтеграція даних та алгоритмів, реалізованих на різних засадах: імперативних та декларативних мовах програмування.

Питання розроблення баз знань та механізмів їх наповнення детально розглянуті в роботах [3–5], а самі бази знань у частині їх сутностей для проектування експертної системи класифікації та аналітичної оцінки професійної діяльності представлені в дослідженнях [6–9], в яких формалізовані інформаційні моделі базових структурних елементів моделі професійної діяльності. Тобто відкритим залишається питання формалізації підходів щодо розроблення правил експертної системи з використанням існуючих декларативних мов програмування.

Проблема полягає у відсутності формалізації як безпосередньо самих правил, які активуються відповідними фактами у процесі аналітичного оцінювання професійної діяльності, так і шаблонів правил, як теоретичної основи побудови зазначених інформаційних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Практично всі роботи за напрямком розробки експертних систем, присвячені загальним підходам і принципам побудови сис-

тем такого класу. Робота [3] є класичною теоретичною роботою, в якій розглянуто і формалізовано базові принципи побудови експертних систем. Велику увагу автор приділив також механізмам набуття знань та особливостям розробки архітектур інформаційних систем, заснованих на знаннях.

Робота [4] також присвячена класичній теорії експертних систем, їх розроблення та формалізації знань. У роботі розглянуто два основні напрямки: безпосередньо експертні системи та їх місце в загальному обсязі комп'ютерних наук та практичне питання використання декларативних мов програмування, а саме мова програмування – CLIPS. Також автор представив новий засіб реалізації програмування за допомогою об'єктно-орієнтованої мови програмування COOL. Окремий розділ присвячений тематиці штучного інтелекту.

Оскільки експертні системи на початку свого розвитку розроблялися як науководослідні інструментальні засоби та розглядалися як штучний інтелект, призначений для вирішення складних завдань у вузьких предметних галузях знань, таких як, наприклад, медицина, широке розповсюдження знайшли роботи, присвячені медичній діагностиці. Прикладом такої роботи є [5], в якій окремим розділом розглядаються питання саме завдань медичної діагностики.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Таким чином, розглянуті наукові роботи не висвітлюють таку предметну галузь, як професійна діяльність, а також окремі її аспекти в частині класифікації та аналітичної оцінки. По-перше, це пов'язано з відсутністю глибоких теоретичних досліджень у цій галузі, по-друге – відсутня формалізація необхідних баз знань.

У роботі [6] розглянуто загальні питання представлення та оброблення даних в експертних системах вже конкретної предметної галузі – професійна діяльність з урахуванням результатів попередніх досліджень структурних та інформаційних моделей. Однак питання формалізації правил, а особливо теоретичних основ розроблення їх шаблонів залишається відкритим, саме цьому питанню присвячена робота.

Мета статті. Метою статті є висвітлення результатів формалізації теоретичних принципів розроблення шаблонів правил експертної системи класифікації та аналітичного оцінювання професійної діяльності з використанням декларативної мови програмування – CLIPS.

Виклад основного матеріалу. База знань зберігає правила, які активуються машиною логічного виводу залежно від фактів, які надійшли з базової моделі професійної діяльності [2], та на основі яких машина могла б сформувати міркування. В подальшому викладені матеріалу будемо керуватися термінологією мови CLIPS, у зв'язку з вільним поширенням її коду та синтаксисом, який характерний для багатьох поширених мов експертних систем.

Основною одиницею будь-якої експертної системи є факт. Факт складається з назви відношення (символьне поле), за яким вказуються від нуля і більше слотів (символьних полів) та пов'язаних з ними значеннями. Як вихідні дані для розроблення шаблонів правил будемо використовувати дані щодо сутності «Компетенція» [7; 8] як найбільш неформалізованої в моделі професійної діяльності. Узагальнений формат факту наведений нижче.

(Ім'я (Слот 1)
(Слот 2)
.....
(Слот n))

Використовуючи структурну модель компетенцій (варіативна частина повної моделі) [2], узагальнений формат факту може бути представлений таким чином.

(*Ім'я компетенції (Кластер _____)*)
 (*Компетенція _____*)
 (*Рівень _____*)
 (*Індикатори поведінки _____*))

Структура фактора в частині слотів збігається зі структурою структурної моделі в частині атрибутів та їх назв, що спрощує побудову конструкцій на мові інтерпретатора команд CLIPS.

Перед тим як з'явиться можливість створити факт, інтерпретатор CLIPS необхідно сповістити про те, яким є список допустимих слотів для відношень із вказаним ім'ям. Описання факторів здійснюється за допомогою конструкції – `deftemplay`, як наведено в прикладі нижче.

```
(deftemplay <Ім'я компетенції> ["опціональний коментар"]
  (slot Кластер)
  (slot Компетенція)
  (multislot Рівень1 .... Рівень n)
  (multislot Індикатори поведінки 1)
  .....
  (multislot Індикатори поведінки n))
```

Припустимо, що слоти факту, які були задані за допомогою ключового слова «**slot**» у відповідних ім конструкціях `deftemplay`, описують тільки одне значення, такі слоти називаються однозначними слотами.

Так перші два слоти можуть мати формат цілого числа або строкової змінної, тобто кластер і компетенція можуть бути описані відповідним номером або конкретною назвою відповідного атрибута. Третій слот має формат декількох цілих чисел, оскільки описує рівні компетенції, виражені в порядковій шкалі вимірювання (деякі компетенції можуть описуватися декількома шкалами). Останній слот, який описує приклади поведінки (доволі складні конструкції), є багатозначним слотом, тому в конструкції описується ключовим словом – **multislot**, як і попередній.

Враховуючи попередні дослідження щодо моделі компетенції [9], яка використовується в межах дослідження, розробленню підлягають 14 форматів фактів. Конкретна кількість фактів буде залежати від моделі компетенції, яка буде використовуватися експертами під час розроблення інформаційної технології.

Експертна система може виконувати змістовну роботу тільки в тому випадку, коли в ній наявні не тільки факти, але й правила, які активуються та обробляються машиною логічного виводу. Конструкція правила в загальному вигляді представлена нижче.

```
(defrule <ім'я правила> ["опціональний коментар"]
  (<Ім'я компетенції> (<Значення слота>))
  =>
  (assert (<Ім'я компетенції> (<Значення слота>))))
```

Заголовок правила складається з трьох частин. Правило починається з ключового слова **defrule**, за яким вводиться назва правила для його подальшої ідентифікації. За заголовком правила вказуються умовні елементи (conditional element – CE), простішим з яких є умовний елемент шаблону. Якщо шаблони правила не суперечать активним фактам, правило активується і переміщується з бази знань у робочий список правил машини логічного вводу.

Останньою частиною правила є список дій, які необхідно виконати у разі активації правила. У прикладі наведено оператор `assert`, який активує інший факт системи.

Графічно фрагмент алгоритму роботи машини логічного виводу представлений на рисунку.

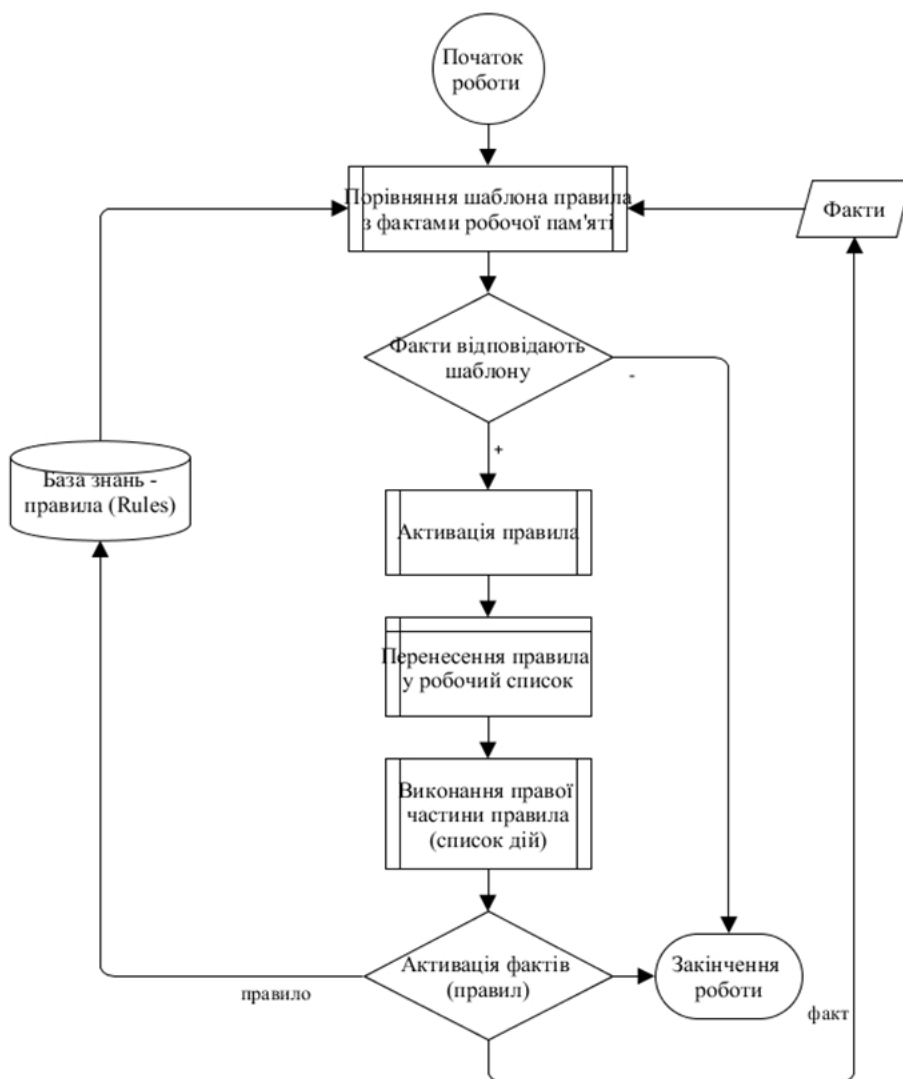


Рис. Фрагмент алгоритму роботи машини логічного виводу експертної системи

Шаблон правила для сутностей інформаційної моделі компетенцій представлений нижче.

```

(defrule <ім'я правила> ["опціональний коментар"]
  (<Ім'я компетенції >
   (Кластер <Значення>
    (Компетенція <Значення> )
    (Рівень <Значення 1> <Значення 2> <Значення 3> )
    (Індикатори поведінки 1 <Значення>
     .....
     (Індикатори поведінки n <Значення>)))
  =>
  (assert (<Ім'я компетенції >
   (Кластер <Значення>
    (Компетенція <Значення> )
    (Рівень <Значення 1> <Значення 2> <Значення 3> )
    (Індикатори поведінки 1 <Значення>
     .....
     (Індикатори поведінки n <Значення>))))))
    
```

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

На прикладі наведено ситуацію встановлення значень атрибутів певної компетенції у разі активації відповідного правила іншою компетенцією, яка представлена в системі як факт та має визначений пороговий рівень кореляції з компетенцією активації [9].

Оскільки в системі передбачається встановлення певних фактів у базовій моделі, то активація компетенцій, або певних сутностей, може відбуватися також певними значеннями атрибутів сутностей базової моделі [2]. У загальному вигляді шаблони таких активацій представлені нижче.

```
(defrule <ім'я правила> ["опціональний коментар"]
  (<Ім'я сутності >
    (Атрибут 1 <Значення>)
    (Атрибут 2 <Значення> )
    (Атрибут 3 <Значення> )
    .....
    (Атрибут n <Значення>)))
=>
(assert (<Ім'я компетенції >
  (Кластер <Значення>)
  (Компетенція <Значення> )
  (Рівень <Значення 1> <Значення 2> <Значення 3> )
  (Індикатори поведінки 1 <Значення>)
  .....
  (Індикатори поведінки n <Значення>))))

(defrule <ім'я правила> ["опціональний коментар"]
  (<Ім'я сутності >
    (Атрибут 1 <Значення>)
    (Атрибут 2 <Значення> )
    (Атрибут 3 <Значення> )
    .....
    (Атрибут n <Значення>)
  ))
=>
(assert (<Ім'я сутності >
  (Атрибут 1 <Значення>)
  (Атрибут 2 <Значення> )
  (Атрибут 3 <Значення> )
  .....
  (Атрибут n <Значення>)
  ))
```

Розроблення змісту конкретних сутностей та правил активації машини логічного виводу передбачає дослідження зв'язків між сутностями моделі професійної діяльності та визначення напрямку та сили кореляції. Практична реалізація змісту правил також буде залежати від конкретних моделей, наприклад, моделі компетенції, моделі комунікацій тощо, які будуть використовувати експерти предметної галузі.

Висновки і пропозиції. Розроблені у статті теоретичні підходи щодо структури та змісту фактів і правил експертної системи класифікації та аналітичної оцінки професійної діяльності з використанням синтаксису декларативної мови програмування CLIPS є основою для практичної реалізації та програмування зазначеної інформаційної технології з урахуванням конкретних структурних та інформаційних моделей професійної діяльності.

Для практичної реалізації правил необхідно здійснити дослідження величини кореляції між атрибутами сутностей моделі професійної діяльності. Активація правил, а саме їх умовних елементів (conditional element – CE) можлива при величині коефіцієнта кореляції не менше ніж 0,75.

Список використаних джерел

1. Заріцький О. В. Теоретичні основи побудови експертних систем аналізу та оцінки професійної діяльності / О. В. Заріцький // Електроніка та системи управління. – 2015. – № 2 (44). – С. 103–106.
2. Заріцький О. В. Розробка математичної моделі професійної діяльності / О. В. Заріцький, В. В. Судік // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2016. – Вип. 1, № 4 (79). – С. 10–19.
3. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М. : Вильямс, 2001. – 393 с.
4. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование : пер. с англ. / Дж. Джарратано, Г. Райли. – 4-е издание. – М. : Вильямс, 2007. – 1152 с.
5. Bryan S. Todd. An introduction to expert system. – Oxford : Oxford University Press, 1992. – 101 p.
6. Заріцький О. В. Представлення та обробка даних в експертних інформаційних системах оцінки професійної діяльності / О. В. Заріцький, В. В. Судік // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2016. – Вип. 1, № 2 (27). – С. 4–8.
7. Заріцький О. В. Структурний аналіз інформаційної моделі комунікацій в рамках розробки інформаційної технології оцінки професійної діяльності / О. В. Заріцький // Вісник інженерної академії України. – 2015. – № 3. – С. 105–109.
8. Заріцький О. В. Структурний аналіз інформаційної моделі кваліфікаційного рівня, необхідного для виконання роботи / О. В. Заріцький, В. В. Судік // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2015. – Вип. 5, № 2 (77). – С. 14–19.
9. Заріцький О. В. Дослідження взаємного впливу структурних елементів інформаційних моделей компетенцій та професійної діяльності / О. В. Заріцький // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). – С. 81–90.

References

1. Zaritskyi, O.V. (2015). Teoretychni osnovy pobudovy ekspertnykh system analizu ta otsinky profesiinoi diialnosti [Theoretical basis of professional activity analysis and estimation expert systems development]. *Elektronika ta systemy upravlinnia – Electronics and control systems*, no. 2 (44), pp. 103–106 (in Ukrainian).
2. Zaritskyj, O.V., Sudik, V.V. (2016). Rozrobka matematychnoi modeli profesiinoi diialnosti [Development of a mathematical model of professional activity]. *Skhidnoievropejskyj zhurnal peredovykh tekhnolohii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, issue 1, no. 4 (79), pp. 10–19 (in Ukrainian).
3. Jacson, P. (2001). *Vvedenie v ekspertnye sistemy [An introduction to expert system]*. Moscow: Williams (in Russian).
4. Giarratano, J.C., Riley, G.D. (2007). *Ekspertnye sistemy printcipy razrabotki i programmirovanie [Expert Systems: Principles and Programming]* (4th ed., translation from English). Moscow: Williams (in Russian).
5. Bryan S. Todd (1992). *An introduction to expert system*. Oxford: Oxford University Press.
6. Zaritskyj, O.V., Sudik, V.V. (2016). Predstavlennia ta obrobka danykh v ekspertnykh informatsiinykh systemakh otsinky profesiinoi diialnosti [Data presenting and processing in expert information system of professional activity analysis]. *Tekhnolohycheskyj audyt y rezervy proyzvodstva – Technology audit and production reserves*, issue 1, no. 2 (27), pp. 4–8 (in Ukrainian).
7. Zaritskyj, O.V. (2015). Strukturnyj analiz informatsijnoi modeli komunikatsij v ramkakh rozrobky informatsijnoi tekhnolohii otsinky profesiinoi diialnosti [Structural analysis of the information model of communication within the development of information technology evaluation of professional activity]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – Proceedings of the National Aviation University*, no. 3, pp. 105–109 (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Zaritskyi, O., Sudik, V. (2015). Strukturnyi analiz informatsiinoi modeli kvalifikatsiinoho rivnia, neobkhidnoho dlia vykonannya roboty [Structural analysis of the information model of the qualification level, necessary for fulfilling the job]. *Skhidnoievropejskyj zhurnal peredovykh tekhnolohii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, issue 5, no. 2 (77), pp. 14–19 (in Ukrainian).

9. Zaritskyj, O.V. (2016). Doslidzhennia vzaiemnoho vplyvu strukturnykh elementiv informatsiinykh modelej kompetentsii ta profesiinoi diialnosti [Study of mutual influence of the structural elements of information models competences and professional activities]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (4), pp. 81–90 (in Ukrainian).

Заріцький Олег Володимирович – кандидат технічних наук, докторант кафедри засобів захисту інформації, Національний авіаційний університет (просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна).

Зарицкий Олег Владимирович – кандидат технических наук, докторант кафедры средств защиты информации, Национальный авиационный университет (просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина).

Zaritskyi Oleg – PhD in Technical Sciences, Doctoral of Information Defense Means Department, National Aviation University (1 Komarova Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

E-mail: olegzaritskyi@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6116-4426>

УДК 621.316:62-8:004.9

*Сергій Іванець, Олексій Красножон***ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ НЕЙРОНЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ
ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО
ПЕРЕТВОРЮВАЧА***Сергей Иванец, Алексей Красножон***ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НЕЙРОНЕЧЁТКОЙ СИСТЕМЫ
ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ***Sergey Ivanets, Oleksii Krasnozhon***THE STUDY OF WORK OF NEURO FUZZY SYSTEM OF TRACKING THE POINT
OF MAXIMUM POWER OF PHOTOVOLTAIC INFERENCE**

Запропоновано та описано структуру нечіткої системи типу Сугено відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача. Обґрунтовано вибір початкових параметрів цієї системи, виконано її початкове налаштування. Сформовано зміст навчальної вибірки для багатошарової штучної нейронної мережі на основі отриманих раніше апроксимацій. Проведено пошук оптимальних параметрів процесу навчання мережі. Проведено порівняння та обґрунтування доцільності використання нечітких функцій належності Гаусса порівняно з іншими типами функцій. Виконано налаштування системи на оптимум функціонування. Проведено моделювання роботи системи в Matlab Simulink. Обраховано значення відносної похибки функціонування розглянутої системи.

Ключові слова: точка максимальної потужності, поверхня керування, універсальна апроксимація, лінгвістична змінна, функція належності, штучна нейронна мережа, вибірка для навчання, моделювання, Мамдані, Сугено, ввідна похибка, нечітка логіка, фотоелектричний перетворювач.

Рис.: 7. Табл.: 4. Бібл.: 7.

Предложена и описана структура нечёткой системы типа Сугено отслеживания точки максимальной мощности фотоэлектрического преобразователя. Обоснован выбор начальных параметров этой системы, выполнена её базовая настройка. Сформировано содержимое обучающей выборки для многослойной искусственной нейронной сети на основании полученных ранее аппроксимаций. Проведён поиск оптимальных параметров процесса обучения сети. Проведено сравнение и обоснование целесообразности использования нечётких функций принадлежности Гаусса в сравнении с другими типами функций. Выполнена настройка системы на оптимум функционирования. Проведено моделирование работы системы в Matlab Simulink. Вычислено значение относительной погрешности функционирования рассмотренной системы.

Ключевые слова: точка максимальной мощности, поверхность управления, универсальная аппроксимация, лингвистическая переменная, функция принадлежности, искусственная нейронная сеть, обучающая выборка, моделирование, Мамдани, Сугено, относительная погрешность, нечёткая логика, фотоэлектрический преобразователь.

Рис.: 7. Табл.: 4. Библ.: 7.

Proposed and described the structure of Sugeno fuzzy maximum power point tracking system of photovoltaic. The choice of the initial parameters of the system, made its basic setting. Formed contents of the training sample for multi-layer artificial neural network on the basis of the previous approximations. Conducted the search for optimal parameters of the process of learning network. A comparison of and rationale for the use of fuzzy membership functions Gauss compared to other types of functions. Configure the system for optimum performance. The simulation of the system in Matlab Simulink. Calculate the value of the relative error of the functioning of the system considered.

Key words: maximum power point control surface, universal approximation, linguistic variable, membership function, artificial neural network, training set, modeling, Mamdani, Sugeno, relative error, fuzzy logic, photovoltaic.

Fig.: 7. Tabl.: 4. Bibl.: 7.

Вступ. Як зазначалося в [1; 2], на сьогодні попит на використання фотоелектричних перетворювачів енергії істотно зростає, тому запропонований метод побудови системи відстеження точки максимальної потужності цих пристроїв, що базується на використанні математичного апарату нечіткої логіки, є актуальним та своєчасним. Крім того, у статтях [3; 4] детально описано та проаналізовано метод пошуку аналітичного опису поверхні керування для таких систем, який ґрунтується на універсальній апроксимації залежності опору навантаження фотоелектричного перетворювача від густини потоку падаючого сонячного випромінювання та його робочої температури.

Зважаючи на вищезазначене, нині можна починати розроблення нечіткої системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів.

Мета статті. У статті [4] було проведено аналіз та зроблено вибір щодо найбільш оптимального аналітичного опису поверхні керування. Очевидно, що запропонована універсальна апроксимація дає прийнятну відносну похибку (порівняно з експериментальними даними), і вона буде застосовуватися для отримання вибірки для навчання штучної нейронної мережі. У свою чергу, процес навчання нейронної мережі є необхідним, оскільки початкові налаштування запропонованої нечіткої системи не гарантують обчислення найбільш оптимального значення опору навантаження фотоелектричного перетворювача за будь-яких умов. Такий результат може бути наслідком того, що таблиця нечітких правил, а також початковий вибір кількості, типу та початкових параметрів нечітких функцій може задаватися не експертом у конкретній технічній галузі.

Таким чином, метою цієї статті є запропонувати структуру нечіткої систему відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів; обґрунтувати вибір параметрів цієї системи; виконати її початкові налаштування; сформувати зміст навчальної вибірки для штучної нейронної мережі; виконати навчання нейронної мережі з відповідною структурою; оцінити ефективність функціонування розробленої системи за допомогою моделювання її роботи. На наш погляд, для вирішення поставлених завдань найбільш оптимальним буде використовувати програмний пакет MATLAB (використовувалася версія R2013a, 8.1.0.604), оскільки він містить всі необхідні інструментальні засоби: Fuzzy Logic Design – для розроблення та налаштування нечіткої системи; Neuro-Fuzzy Design – для навчання штучної нейронної мережі; Simulink – для моделювання роботи системи; m-мова – для виконання обчислень та операцій з файлами.

Виклад основного матеріалу. На першому етапі розроблення нашої нечіткої системи необхідно визначитися з тим, що буде виступати вхідними та вихідними лінгвістичними змінними. У принципі, відповідь на це питання є майже очевидною, вона криється в аналітичному описі поверхні керування, який було отримано в [4]. Отже, першою вхідною лінгвістичною змінною системи буде густина потоку падаючого сонячного випромінювання, другою – робоча температура фотоелектричного перетворювача; вихідною змінною – опір навантаження. В подальшому, з метою уникнення повторів, будемо називати першу вхідну змінну “Solar”, другу – “Temperature”, вихідну – “Resistance”. Тепер покладемо, що значення, які може приймати змінна “Solar”, будуть лежати в діапазоні $0 \text{ Вт/м}^2 \dots 1200 \text{ Вт/м}^2$; для нечіткої змінної “Temperature” – у діапазоні від $-30 \text{ }^\circ\text{C} \dots +80 \text{ }^\circ\text{C}$; для “Resistance” – від 2 Ом до 43 Ом.

На самому початку роботи інструмент Fuzzy Logic Design пропонує створити нечітку систему одного з двох видів: система з нечітким логічним виводом типу Мамдані або типу Сугено. Відмінність між цими типами систем полягає в тому, що система типу Мамдані формує вихідний результат у вигляді нечіткої множини певного виду, а система типу Сугено – у вигляді конкретної числової величини, або ж лінійної функції. Як зазначається в [5], для технічних систем керування найбільш прийнятним є логічний вивід типу Сугено, отже, будемо використовувати саме цей тип систем. Також зауважимо, що вихідна лінгвістична змінна буде представлятися певною кількістю констант.

Тепер необхідно обрати форму та кількість нечітких функцій належності, з яких складатиметься кожна вхідна лінгвістична змінна. Такий вибір будемо виконувати з урахуванням таких вимог [5]:

- усі функції належності, незалежно від форми, повинні мати приблизно однакову ширину;
- сукупність функцій належності має повністю охоплювати діапазон значень лінгвістичної змінної;
- діапазони значень двох сусідніх функцій належності мають перекриватися хоча б на третину від своєї висоти.

Всього існує 5 типів нечітких функцій належності – s , π , γ , t , L [5]. Найбільш поширеними для використання у системах керування є 3 останні типи функцій.

Тому з метою з'ясувати, який з наявних типів функцій належності буде давати більш достовірний результат обчислення опору навантаження, будемо паралельно розробляти 2 системи: в першій будемо використовувати функції належності трикутного (trimf) та трапецієподібного (trapmf) виду, в другій – лише функції Гаусса (gaussmf).

Як зазначається в [5], типовою кількістю нечітких функцій належності для деякої лінгвістичної змінної зазвичай є 5 штук. Перевищення цієї кількості значно підвищує складність нечіткої системи, оскільки це може призвести до суттєвого збільшення кількості нечітких правил без істотного покращення якості обчислення вихідного результату. Мала кількість функцій може призвести до низької точності обчислення вихідного результату. Отже, для кожної вхідної лінгвістичної змінної в кожній з двох типів систем будемо використовувати по 5 нечітких функцій належності. З метою спрощення введемо умовні назви для кожної таких функцій: NB (від Negative Big), NS (від Negative Small), Z (від Zero), PS (від Positive Small), PB (від Positive Big).

Зважаючи на все зазначене вище, можна запропонувати такі нечіткі системи. На рис. 1 зображено загальний вигляд вхідних лінгвістичних змінних для першої нечіткої системи. На рис. 2 зображено загальний вигляд вхідних лінгвістичних змінних для другої нечіткої системи.

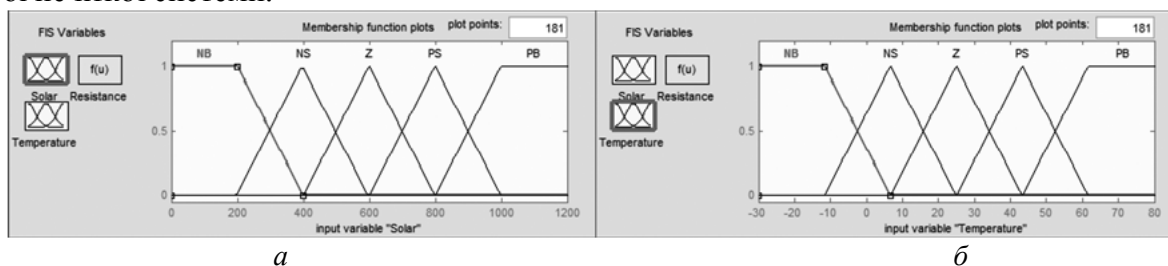


Рис. 1. Загальний вигляд функцій належності першої системи для входів: а – “Solar”; б – “Temperature”

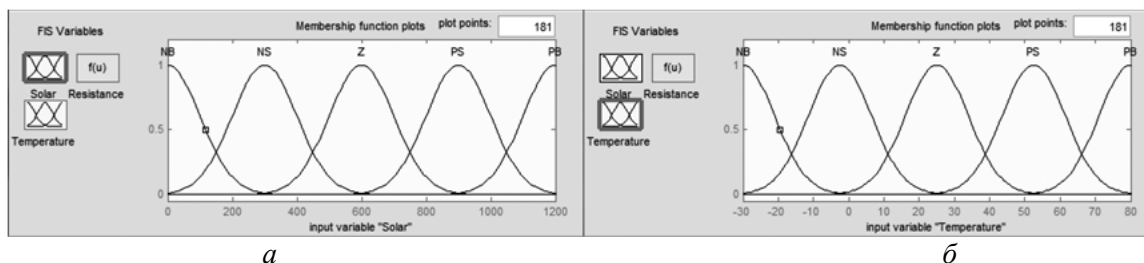


Рис. 2. Загальний вигляд функцій належності другої системи для входів: а – “Solar”; б – “Temperature”

Тепер необхідно приступити до наповнення бази знань нечіткої системи стосовно об'єкта керування, тобто створити таблицю нечітких правил у вигляді, запропонованому Сугено [5]:

$$IF(x_1 \in A_1^{(k)} \text{ AND } x_2 \in A_2^{(k)}) THEN(y_1 = f^{(k)}(x_1, x_2)), \quad (1)$$

де x_1, x_2 – вхідні лінгвістичні змінні нечіткої системи;

y_1 – вихідна лінгвістична змінна;

$A_1^{(k)}, A_2^{(k)}$ – відповідні нечіткі множини;

$k = 1, \dots, N$ – порядковий номер нечіткого правила.

Однак у нашому випадку нечітке правило буде мати такий вигляд:

$$IF(x_1 \in A_1^{(k)} \text{ AND } x_2 \in A_2^{(k)}) THEN(y_1 = c_1^{(k)}), \quad (2)$$

де $c_1^{(k)}$ – числове значення вихідної величини.

Така таблиця була складена на основі аналізу зміни опору навантаження для фотоелектричного перетворювача залежно від умов навколишнього середовища [3]. Для забезпечення максимальної точності отримання вихідної величини ця таблиця має бути повною, тобто в ній мають бути визначеними абсолютно всі правила. Також вона не може містити правила, зміст яких суперечить одне одному.

З погляду комбінаторики очевидно, що повністю визначена таблиця нечітких правил має містити 25 правил, оскільки кожна з двох вхідних змінних має по 5 функцій належності (або термів). У табл. 1 наведено зміст розробленої бази знань, де на перетині вибраних строки та стовпчика знаходиться номер відповідної константи (mf). Вага кожного нечіткого правила виду (2) з табл. 1 приймається рівною 1 (це значення пропонується за замовчуванням). Для чистоти експерименту будемо використовувати однакову таблицю нечітких правил для першої та другої запропонованої системи.

Таблиця 1

Зміст запропонованої бази знань для розроблюваної нечіткої системи

Нечіткі функції належності змінної “Solar”	Нечіткі функції приналежності змінної “Temperature”				
	NB	NS	Z	PS	PB
NB	mf1	mf2	mf3	mf4	mf5
NS	mf6	mf7	mf8	mf9	mf10
Z	mf11	mf12	mf13	mf14	mf15
PS	mf16	mf17	mf18	mf19	mf20
PB	mf21	mf22	mf23	mf24	mf25

Після виконання зазначених вище кроків ми закінчили етап розробки нечіткої системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів, а саме: запропонували структуру нечіткої системи, обґрунтували вибір параметрів системи, виконали її початкові налаштування. Тепер необхідно переходити до етапу налаштування системи на оптимум функціонування через навчання штучної нейронної мережі.

Використання додатка Neuro-Fuzzy Design вимагає формування вибірки для навчання штучної нейронної мережі, яка має бути представлена у вигляді трьох стовпчиків, розділених між собою знаком табуляції. Кожний зі стовпчиків містить відповідне значення, яке може приймати конкретна лінгвістична змінна. Порядок розміщення стовпчиків у напрямку зліва-направо відповідає наступному порядку лінгвістичних змінних: “Solar” → “Temperature” → “Resistance”. Скориставшись аналітичним описом поверхні керування, який було отримано у вигляді універсальної апроксимації в [4], та зважаючи на те, що навчальна вибірка буде зберігатися в окремому файлі (який обов’язково повинен мати розширення *.dat), можна створити наступну програму на мові, яка б отримувала числові значення векторів цієї навчальної вибірки:

```
S= 100:100:1200; %This is irradiance
T= -30:10:80; %This is temperature
fid= fopen('<file path>','wt');
for i= 1:numel(S)
    for j= 1:numel(T)
        x=-9.1168e-005*T(j)^3-0.0538*T(j)^2+6.1233*T(j)+3356.9;
        a1=1.7288e-012*T(j)^3+2.7858e-009*T(j)^2+3.6226e-007*T(j)+1.9018e-005;
        a0=-2.5943e-006*T(j)^2 -2.7593e-004*T(j)+0.9852;
        Z(i,j)= x/S(i)^(a1*S(i)+a0);
        Q= [S(i), T(j), Z(i,j)];
        dlmwrite('<file path>', Q, 'delimiter', '\t', 'precision', 9, '-append');
    end
end
end
fclose('all');
```

У результаті виконання цих операцій було отримано файл з навчальною вибіркою місткістю у 144 строки. Після запуску вказаного додатка і завантаження в нього структури нашої нечіткої системи (файла з розширенням *.fis), автоматично було створено штучну нейронну мережу з відповідною структурою, яку зображено на рис. 3. Зазначимо, що структура такої мережі ніяк не залежить від типу функцій належності, тобто вона буде однаковою для обох систем.

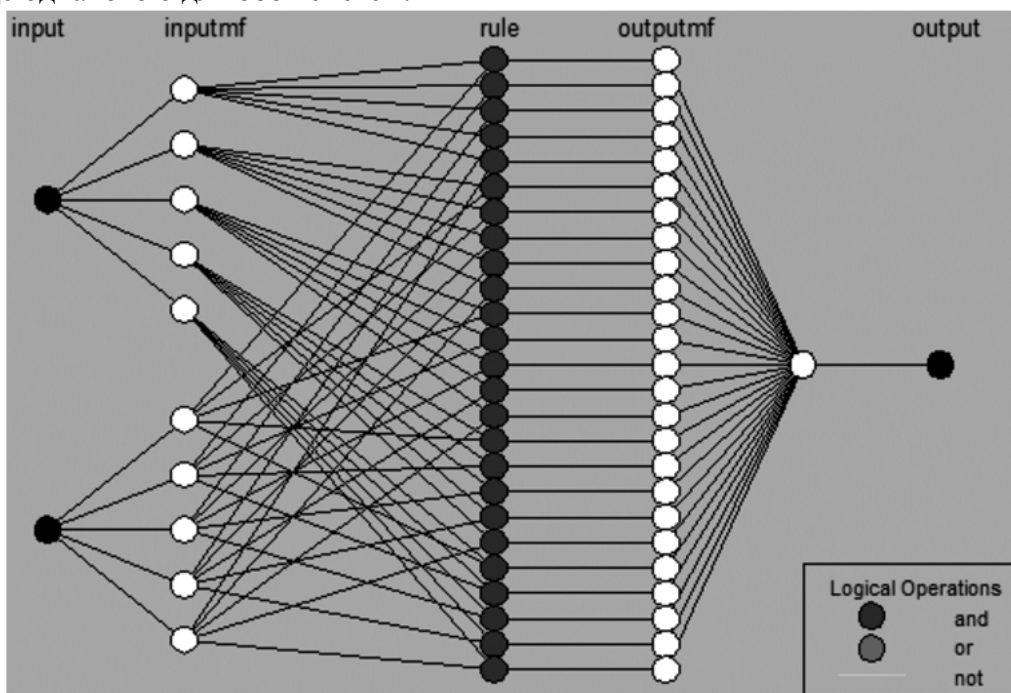


Рис. 3. Структура штучної нейронної мережі для налаштування параметрів нечіткої системи

Після цього необхідно вказати, яким із методів буде виконуватися навчання штучної нейронної мережі (випаде меню Optim. Method): зворотного розповсюдження помилки (backpropa) або гібридний (hybrid). Оскільки кожний із методів навчання має як свої істотні переваги, так і недоліки [5], тому важко сказати наперед, який із них дозволить отримати меншу похибку. Отже, будемо навчати штучну нейронну мережу обома методами, щоб потім порівняти результати та обрати найбільш оптимальний варіант.

Оскільки ми наперед не знаємо, до якого значення може знизиться відносна похибка обчислення результату штучною нейронною мережею після навчання (а для розробленої системи взагалі краще, щоб ця похибка була якомога меншою), тому залишимо значення у полі Error Tolerance без змін, тобто рівним 0. Поле Epochs визначає кількість ітерацій, під час яких буде застосовуватися вибраний метод навчання, початкове значення – 3. Очевидно, що це значення є неприйнятним для нашої системи, тому будемо змінювати його з метою пошуку найменшого значення похибки навчання.

У табл. 2 наведено результати експериментів з навчання штучної нейронної мережі для першої нечіткої системи (яка містить трикутні та трапецієподібні нечіткі функції належності для входних лінгвістичних змінних). У табл. 3 – аналогічні результати для нечіткої системи з функціями належності Гаусса.

Таблиця 2

Результати навчання штучної нейронної мережі для першої нечіткої системи

Кількість ітерацій	Похибка навчання, %	
	зворотного розповсюдження помилки	гібридний
1000	13,6198	4,21109
5000		
більше 5000		

Таблиця 3

Результати навчання штучної нейронної мережі для другої нечіткої системи

Кількість ітерацій	Похибка навчання, %	
	зворотного розповсюдження помилки	гібридний
1000	10,1762	0,3968
5000	0,45549	0,21931
10000	0,15853	0,12126
15000	0,12184	0,071561
20000	0,10543	0,044143
25000	0,095626	0,028298
30000	0,88986	0,018792
35000	0,84146	0,014919
40000	0,080436	0,014919

Аналізуючи дані з табл. 2 і 3 загалом можна зробити висновок, що результати навчання штучної нейронної мережі гібридним методом значно кращі, ніж методом зворотного розповсюдження помилки. При цьому мережа для другої нечіткої системи (з функціями Гаусса) навчається значно краще, ніж перша. Незавжди помітити, що найбільш оптимальним є варіант навчання штучної нейронної мережі, що покладена в основу другої нечіткої системи, впродовж 35000 ітерацій гібридним методом, оскільки при цьому похибка навчання мережі становить $\approx 0,015\%$. Такий результат може пояснюватися такими особливостями:

- при однаковій ширині трикутної функції і функції Гауса, площа, яку охоплює остання, буде більшою;

- нелінійний характер наростання та спадання функції Гаусса дозволяє більш точно вибирати точку перетину нечітких функцій належності;

- функція Гаусса має лише два параметри – центр функції та ширину, на відміну від трикутної та трапецієподібної функцій, які мають по три і чотири параметри відповідно.

Велику кількість ітерацій гібридного методу, необхідних для навчання штучної нейронної мережі, можна пояснити такими міркуваннями:

- навчальна вибірка складається з досить великої кількості векторів (144 одиниці), а отже, нейронна мережа повинна навчитися, щоб достовірно «вгадувати» таку кількість результатів;

- розподілення величин опору навантаження в усьому діапазоні допустимих значень носить дуже нерівномірний характер: кількість значень опору, що знаходяться в діапазоні 2–5 Ом значно перевищує ті, що знаходяться в діапазоні 30–50 Ом;

- структура нейронної мережі має 3 прихованих шари, кожний з яких містить досить велику кількість нейронів;

- конкретне значення відносної похибки навчання не було задано наперед, оскільки воно має бути якомога меншим.

Можна висунути припущення, що відносна похибка при навчанні мережі методом зворотного розповсюдження помилки дозволить отримати результат і краще, ніж гібридний метод, однак, очевидно, що це станеться при значно більшій кількості ітерацій.

На рис. 4 графічно проілюстровано процес навчання для найбільш оптимального варіанта. З рис. 4 видно, що процес навчання штучної нейронної мережі закінчився десь після 32 500 ітерацій, адже після цього кроку значення похибки вже більше не змінювалося.

На цьому процес навчання штучної нейронної мережі можна вважати закінченим. У результаті чого ми отримали повністю налаштовану нечітку систему відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача. Зважаючи на результати проведених експериментів, у подальшому будемо використовувати лише нечітку систему з функціями належності Гаусса. На рис. 5 зображено загальний вигляд функцій належності для вхідних лінгвістичних змінних налаштованої системи.

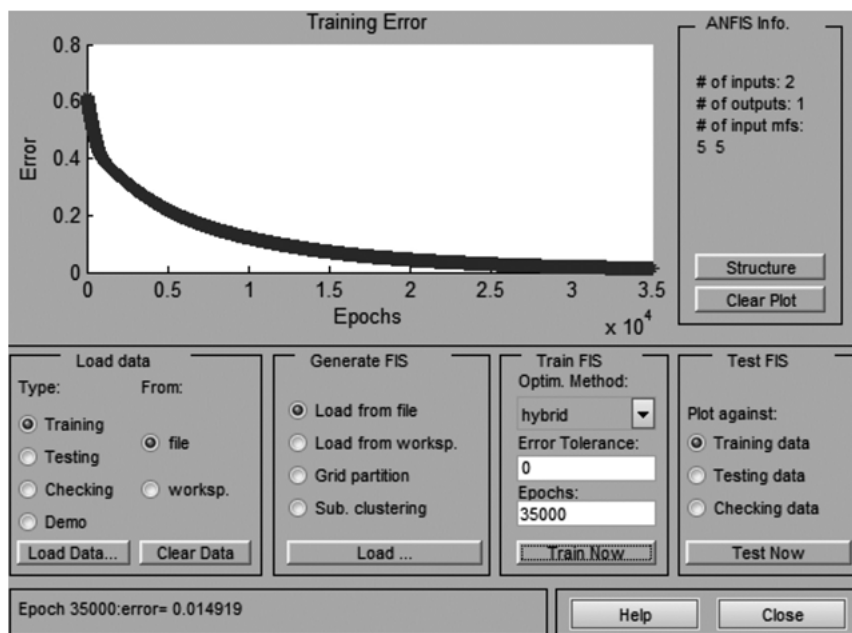
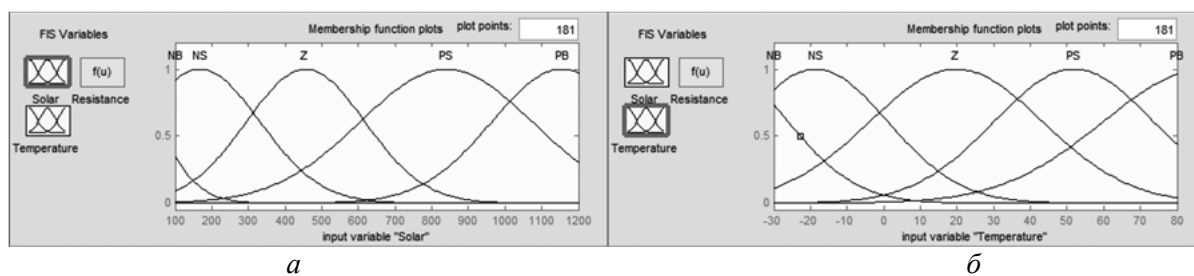


Рис. 4. Ілюстрація процесу навчання штучної нейронної мережі



а

б

Рис. 5. Загальний вигляд функцій належності налаштованої системи для входів: а – “Solar”; б – “Temperature”

Порівнюючи між собою рис. 2 та 5, можна побачити, що процес навчання вніс істотні зміни в параметри функцій належності вхідних лінгвістичних змінних, однак зміст таблиці нечітких правил (табл. 1), а також вага кожного з правил залишилися незмінними. Числові значення величин, з яких складається змінна “Resistance”, наведено в табл. 4. Фактично, це і є значення опору навантаження для фотоелектричного перетворювача.

Таблиця 4

Числові значення констант для змінної “Resistance”

Найменування константи	Числове значення	Найменування константи	Числове значення	Найменування константи	Числове значення
mf1	78,54	mf10	20,44	mf19	4,603
mf2	91,23	mf11	5,621	mf20	4,364
mf3	97,82	mf12	6,429	mf21	1,994
mf4	108,2	mf13	6,796	mf22	2,154
mf5	117,1	mf14	7,359	mf23	2,15
mf6	13,62	mf15	7,479	mf24	2,077
mf7	15,78	mf16	3,722	mf25	1,585
mf8	16,94	mf17	4,193		
mf9	18,78	mf18	4,368		

Очевидно, що тепер можна переходити до процесу моделювання роботи розробленої системи з метою оцінювання точності її функціонування. У статті [4] зазначалося, що відносна похибка для запропонованої універсальної апроксимації для аналітичного опису поверхні керування розробленої системи за модулем не перевищує значення 1,6 % у діапазоні доцільного використання фотоелектричних перетворювачів [6], і не перевищує 6,3 % поза межами діапазону. Очевидно, що таку відносну похибку до обрахування опору наван-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

таження вносять отримані апроксимаційні поліноми. Однак штучна нейронна мережа також буде вносити певну похибку, тому будемо проводити оцінювання таким чином.

За допомогою бібліотек компонентів оболонки Simulink [7] створимо першу модель системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача, в якій оптимальне значення опору навантаження при заданих умовах обчислюється на основі універсальної апроксимації. Результат створення першої моделі зображено на рис. 6. На наступному кроці створимо другу модель системи, але в ній значення опору навантаження буде обчислюватися вже за допомогою налаштованої нечіткої системи. Результат створення другої моделі зображено на рис. 7.

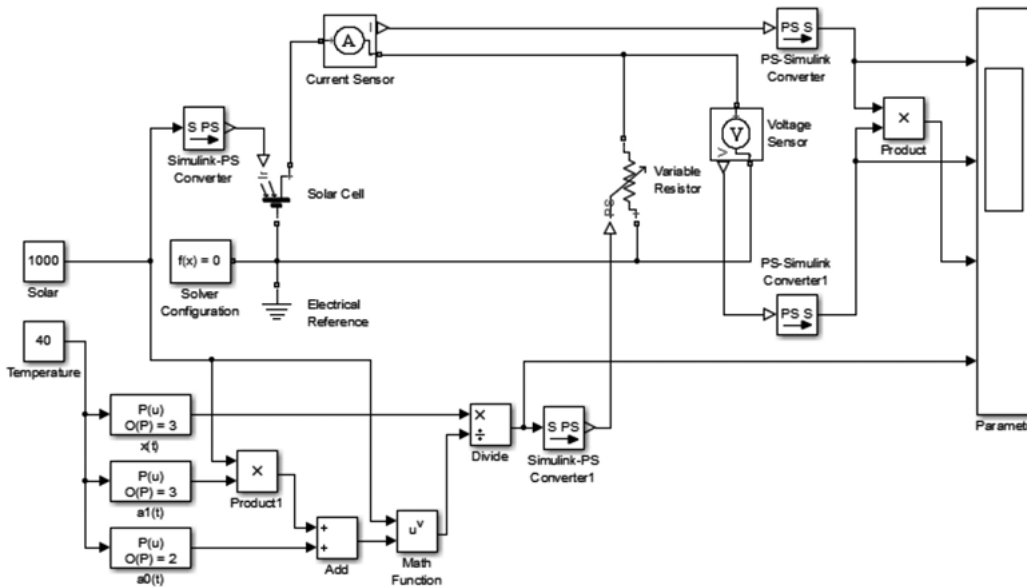


Рис. 6. Модель системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача на основі універсальної апроксимації

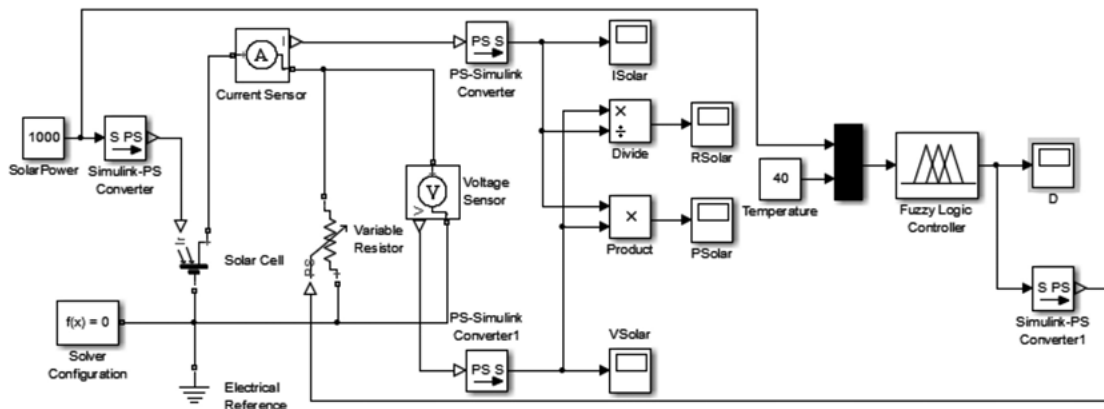


Рис. 7. Модель системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача на основі нечіткої логіки

Очевидно, що тепер ми можемо промодельовати роботу обох систем і на основі отриманих значень опорів навантаження оцінити відносну похибку функціонування розробленої нейронечіткої системи.

Відносна похибка між будь-якими відповідними значеннями опорів навантаження розраховувалась за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{|R1_i - R2_i|}{R1_i} \cdot 100\%, \tag{3}$$

де i – порядковий номер обчислення, що виконується.

З аналізу отриманих результатів моделювання, можна зробити такі висновки:

– максимальна відносна похибка між результатами обчислення опору навантаження фотоелектричного перетворювача через універсальну апроксимацію і через розроблену та налаштовану нейронечітку систему не перевищує значення у 0,6345 % у діапазоні доцільного функціонування перетворювача;

– максимальна відносна похибка між результатами обчислення опору навантаження фотоелектричного перетворювача через універсальну апроксимацію і через розроблену та налаштовану нейронечітку систему не перевищує значення у 0,7702 % поза межами діапазону доцільного функціонування перетворювача.

Отже, на основі результатів моделювання роботи розробленої та налаштованої нейронечіткої системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача можна впевнено стверджувати, що відносна похибка обчислення опору навантаження не перевищує значення у 2,2345 % у діапазоні доцільного функціонування перетворювача та 7,0702 % поза межами цього діапазону.

Висновки. У цій статті було послідовно було:

– запропоновано та описано структуру нечіткої системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів;

– обґрунтовано вибір початкових значень для параметрів цієї системи (тобто виконано її початкове налаштування);

– за допомогою пакета Matlab сформовано зміст навчальної вибірки для штучної нейронної мережі з відповідною структурою відповідно до отриманої універсальної апроксимації;

– виконано подальше навчання цієї мережі гібридним методом впродовж 35 000 ітерацій з метою налаштування нечіткої системи на оптимум функціонування;

– за допомогою оболонки Simulink виконано моделювання роботи налаштованої нейронечіткої системи;

– досліджено максимально допустиме відхилення значення опору навантаження фотоелектричного перетворювача, обраховане нейронечіткою системою, від його оптимального значення.

Отримана за допомогою моделювання величина відносної похибки обчислення значення опору навантаження фотоелектричного перетворювача, що обраховується при заданих умовах, розроблена система дозволяє стверджувати, що пошук точки максимальної потужності здійснюється з високою точністю.

Список використаних джерел

1. *Іванець С. А.* Розвиток електроенергетики на основі концепції “інтелектуальних” електричних мереж Smart Grid / С. А. Іванець, О. В. Красножон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 1 (63). – С. 167–178.

2. *Іванець С. А.* Використання нечіткої логіки в системах відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів / С. А. Іванець, О. В. Красножон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2 (73). – С. 180–187.

3. *Іванець С. А.* Отримання аналітичного опису поверхні керування для системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача / С. А. Іванець, О. В. Красножон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 2 (78). – С. 187–196.

4. *Іванець С. А.* Пошук оптимальної ступеневої апроксимації поверхні керування для системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача / С. А. Іванець, О. В. Красножон // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). – С. 91–104.

5. *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

6. *Tsai Huan-Liang.* Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK / Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, Yi-Jie Su // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. – 2008, October 22–24. – 6 p.

7. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

References

1. Ivanets, S.A., Krasnozhan, O.V. (2013). Rozvytok elektroenerhetyky na osnovi kontseptsii "intelektualnykh" elektrychnykh mrezh Smart Grid [[The development of power industry on the basis of "Smart Grid" conception of "smart" electrical grids]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Engineering science"*, no. 1 (63), pp. 167–178 (in Ukrainian).
2. Ivanets, S.A., Krasnozhan, O.V. (2014). Vykorystannia nechitkoi lohiky v systemakh vidstehennia tochky maksymalnoi potuzhnosti fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv [The using of fuzzy logic for development of photovoltaic maximum power point tracking systems]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Engineering science"*, no. 2 (73), pp. 180–187 (in Ukrainian).
3. Ivanets, S.A., Krasnozhan, O.V. (2015). Otrymannia analitychnoho opysu poverkhni keruvannia dlia systemy vidstehennia tochky maksymalnoi potuzhnosti fotoelektrychnoho peretvoriuvacha [Obtaining of an analytical description of the control surface for the system tracking maximum power point of a photovoltaic cell]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Engineering science"*, no. 2 (78), pp. 187–196 (in Ukrainian).
4. Ivanets, S.A., Krasnozhan, O.V. (2016). Poshuk optymalnoi stepenevoi aproksymatsii poverkhni keruvannia dlia systemy vidstehennia tochky maksymalnoi potuzhnosti fotoelektrychnoho peretvoriuvacha [The search for an optimal degree approximation of the surface control for maximum power point tracking system of photovoltaic converter]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (4), pp. 91–104 (in Ukrainian).
5. Rutkovskaia, D., Pilinskii, M., Rutkovskii, L. (2006). *Neironnye seti geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Artificial neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]* (I.D. Rudinskii, Trans.). Moscow: Goriachaia liniia Telekom (in Russian).
6. Tsai Huan-Liang, Ci-Siang Tu, Yi-Jie Su (2008). Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. October 22–24.
7. Chernykh, I.V. (2007). *Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB SimPowerSystems i Simulink [Simulation of electrical devices in MATLAB. SimPowerSystems and Simulink]*. Moscow: DMK Press (in Russian).

Іванець Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Иванец Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры биомедицинских радиоэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Ivanets Sergey – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sergey.ivanets@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9587-0783>

ResearcherID: F-6112-2014

Scopus Author ID: 48061088300

Красножон Олексій Васильович – асистент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Красножон Алексей Васильевич – асистент кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Krasnozhan Oleksii – assistant of Information and Computer Systems department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: wingcommander@ngs.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2500-254X>

ResearcherID: G-4623-2014

УДК 528.3

*Сергій Крячок, Валентин Потеруха***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛОЇ ЕЛЕКТРОННОГО
ТАХЕОМЕТРА В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ***Сергей Крячок, Валентин Потеруха***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТОЯННОЙ ПОПРАВКИ
ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ***Serhiy Kryachok, Valentyn Poterukha***EXPERIMENTAL STUDY OF THE CONSTANT OF AN ELECTRONIC
TACHOMETER IN THE FIELD CONDITIONS**

Виконано експериментальні дослідження з визначення сталої електронного тахеометра Trimble 3305 DR у парі з відбивачем світлодіалеміра СТ-5. Виконано 28 незалежних прийомів з її визначення за методикою безбазисного позастворного способу. Відстань між крайніми штативами сягала близько 20 м, нахил місцевості становив 4°, а відхилення середнього штатива від створної лінії крайніх досягало 20 см. Встановлено, що середнє значення сталої, обчисленого за методикою безбазисного позастворного способу, становило 41,0 мм, за методикою безбазисного квазістворного способу – 41,1 мм, значення сталої, визначеної за методикою створного способу, становило 42,7 мм. Запропоновано виконувати вимірювання та опрацювання результатів за методикою безбазисного квазістворного способу, що зменшує час на проведення вимірювань на третину зі збереженням точності визначення сталої.

Ключові слова: геодезична мережа, стала електронного віддалеміра, точність вимірювання відстаней, електронний тахеометр.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 11.

Выполнены экспериментальные исследования по определению постоянной поправки электронного тахеометра Trimble 3305 DR в паре с отражателем светодальномера СТ-5. Выполнено 28 независимых приемов по ее определению по методике безбазисного внестворного способа. Расстояние между крайними штативами составляло около 20 м, уклон местности составлял 4°, а отклонение среднего штатива от створной линии крайних достигал 20 см. Установлено, что среднее значение постоянной поправки, рассчитанной по методике безбазисного внестворного способа, составило 41,0 мм, по методике безбазисного квазистворного способа – 41,1 мм, значение постоянной поправки, определенной по методике створного способа, составило 42,7 мм. Предложено выполнять измерения и обработку результатов по методике безбазисного квазистворного способа, что позволит уменьшить время на проведение измерений на треть с сохранением точности определения постоянной.

Ключевые слова: геодезическая сеть, постоянная электронного дальномера, точность измерения расстояний, электронный тахеометр.

Рис.: 4. Табл.: 1. Библ.: 11.

Experimental studies to determine the permanent amendment of the Trimble 3305 DR paired with reflector of the electronic rangefinder ST-5 were made. 28 independent determinations were done. The distance between the extreme tripods was about 20 m. Slope of the terrain was 4°, and deviation of the mean from a tripod line was about 20 m. Mean values of the constant amendments were calculated: - 41.1 mm - the procedure when tripods are arranged approximately in one line; - 41.0 mm - the procedure when the average tripod located outside the outer line of alignment; - 42.7 mm - when tripods are located in one line. It is suggested to perform the measurement and processing of the results of the first method. This will reduce the time to perform measurements by one third. Measurement accuracy is high.

Key words: surveys net, constant correction of electronic rangefinder, accuracy of measurement of lines, electronic total station.

Fig.: 4. Tabl.: 1. Bibl.: 11.

Постановка проблеми. Координатне забезпечення землеустрою, інженерно-геодезичних робіт має у своєму арсеналі передові методи. До них належать GNSS-технології. Методика та засоби визначення координат наземних пунктів постійно удосконалюються [1–3].

Спостерігається комплексне використання GNSS- технологій і традиційних методів, яке найбільш ефективно в населених пунктах з висотною забудовою, в лісистій та гірській місцевостях [4; 5].

Удосконалюється і такий традиційний метод координатного забезпечення, як полігонометрія. Використання сучасних електронних тахеометрів, що мають високу точність вимірювання відстаней, дозволяє створювати планові мережі рівної точності. У цьому випадку можна відмовитись від класичної схеми створення мереж згущення, коли нижчий клас чи розряд полігонометрії, спираючись на пункти старшого класу, втрачає в точності планового положення своїх пунктів [6; 7].

Технологія вимірювання відстаней електронними тахеометрами та електронними віддалемірами включає врахування постійної поправки, або сталої віддалеміра. Вона виникає через незбіг випромінюючої поверхні електронного віддалеміра та відбивної поверхні відбивача з осями обертання цих приладів, адже вони встановлюються над пунктами так, щоб вертикальні осі обертання приладів збігалися з центрами геодезичних пунктів. Стала має різне значення для різних моделей віддалемірів та може змінювати своє значення з часом у силу різних причин навіть для конкретної пари «електронний віддалемір – відбивач» [8]. Тому удосконалення способу визначення сталої електронного віддалеміра є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо кілька способів визначення сталої, особливості яких наведено у праці [8]. Найбільш надійно стало можна отримати класичним способом на базисі з кількох ліній, на якому виконуються вимірювання відстаней електронним віддалеміром та у підсумку визначається стала як різниці між базисним значенням лінії та значенням, виміряним електронним віддалеміром. Але не завжди знайдеться такий високоточний базис навіть у обласних центрах. Тому заслуговує на увагу використання безбазисного способу, що має кілька модифікацій: безбазисний створний спосіб та безбазисний позастворний спосіб.

У першому випадку електронним віддалеміром вимірюються три лінії, розташовані у створі, а значення сталої віддалеміра обчислюється як різниці замикальної лінії та двох її складових. У другому випадку центральний штатив встановлюють поза створом двох крайніх та, крім трьох відстаней, вимірюють ще й два горизонтальні кути з крайніх штативів на середній. Сталу визначають як функцію виміряних відстаней та кутів [9]. В обох випадках вимірювання виконують на рівнинній місцевості. Цей спосіб удосконалено врахуванням не тільки позастворного положення середнього штатива у плані, а й по висоті [10]. Для цього на станції визначення сталої додатково вимірюються кути нахилу ліній, а сталу визначають як функцію виміряних відстаней горизонтальних кутів та кутів нахилу ліній. Це дозволяє визначати сталу, незважаючи на нахил та рельєф місцевості.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Подальшого удосконалення зазнав і безбазисний створний спосіб визначення сталої. Для цього було побудовано математичну модель та проведено математичне моделювання, за результатами якого визначено діапазон припустимих зміщень середнього штатива у плані та по висоті відносно створної лінії крайніх штативів для електронних віддалемірів з заданими параметрами точності. Запропоновано враховувати зміщення середнього штатива у плані та по висоті для обчислення сталої, що дозволяє розширити діапазон припустимих зміщень середнього штатива. Визначення сталої віддалеміра можна проводити як на рівнині, так і на похилій місцевостях без втрати точності її визначення [11]. У такий спосіб запропоновано квазістворний безбазисний спосіб визначення сталої електронних віддалемірів.

Для практичної реалізації теоретичних положень та результатів математичного моделювання були проведені експериментальні дослідження у польових умовах.

Мета статі. Головною метою цієї роботи є проведення за результатами експериментальних досліджень розрахунків сталої електронного тахеометра за наведеними вище способами.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень було вибрано похилу місцевість, а саме: на ділянці тротуару по вулиці Проектній, поруч з мостом через Стрижень. Два крайні штативи були встановлені на відстані близько 20 м, а середній штатив – посередині між ними. Програмою експериментальних досліджень було передбачено визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра Trimble 3305 DR за такою методикою. За відбивач було взято той, що входив до комплексу елект-

ронного віддалеміра СТ-5 «Блеск»; він встановлювався у підставку і складався з однієї призми відбиття. Перед початком вимірювань у меню тахеометра вносились дані про температуру і тиск повітря, які вимірювались на місці проведення експерименту, та значення сталої, яке приймалось рівним нулю. Підставки на штативах горизонтувались за допомогою електронного тахеометра.

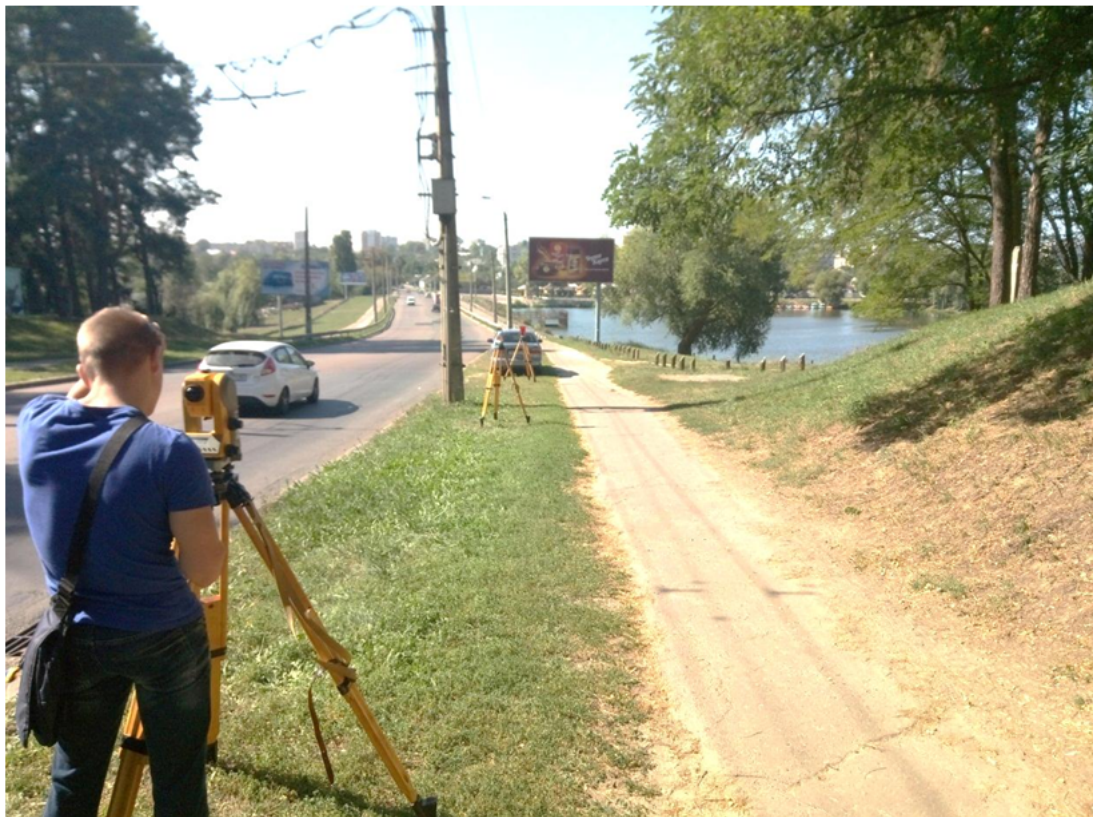


Рис. 1. Місце проведення експериментальних досліджень

Вимірювання параметрів з визначення сталої виконувалось як у випадку позастворного безбазисного способу [10], а саме: на першому крайньому штативі вимірювалась похила відстань S_{13} , визначався відлік по горизонтальному кругу Γ_{13} та відлік по вертикальному кругу B_{13} тахеометра на відбивач іншого крайнього штатива під № 3; похила відстань S_{12} ; визначався відлік по горизонтальному кругу Γ_{12} та відлік по вертикальному кругу B_{12} тахеометра на відбивач середнього штатива під № 2, який переносився зі штатива № 1 на штатив № 2. Це перший цикл вимірювань (рис. 2).

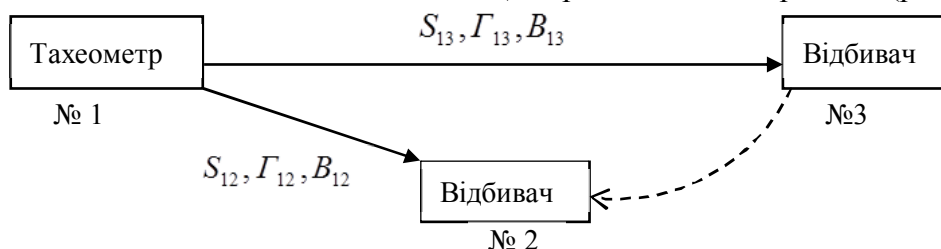


Рис. 2. Перший цикл вимірювань на станції визначення сталої

У другому циклі (рис. 3) тахеометр переносився на штатив № 3, з якого вимірювалась похила відстань S_{32} , визначався відлік по горизонтальному кругу Γ_{32} та відлік по вертикальному кругу B_{32} тахеометра на відбивач штативу № 2 та визначався відлік по горизонтальному кругу Γ_{31} на відбивач штативу № 1, перенесеного зі штативу № 2. За візирну ціль для вимірювання кутів використовувалась точка перетину ребер призми ві-

дбиття, яка розташована в центрі відбивача. Кожна відстань S_{ij} вимірювалась тричі та визначалось середнє значення. Вимірювання кутів виконувалось при одному крузі. Наведенні вимірювання та маніпуляції з відбивачем і тахеометром склали один прийом з визначення сталої, або одну станцію. Було виконано 28 прийомів. Між прийомами штативи № 3 та № 2 переставлялись поруч з попереднім місцем розташування, щоб забезпечити принцип незалежності вимірювань для визначення сталої на кожній станції. Було визначено місце нуля вертикального круга тахеометра, яке становило кілька кутових секунд і приймалось рівним нулю – для визначення кутів нахилу ліній з огляду на короткі відстані між штативами. Вимірювання почалися о 12:00, а закінчилися о 16:10, тобто тривали 4 години та 10 хвилин.

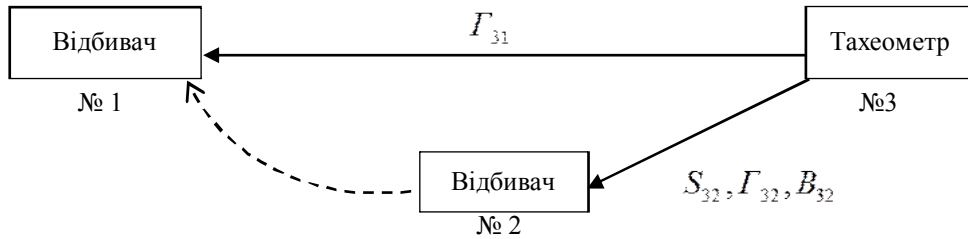


Рис. 3. Другий цикл вимірювань на станції визначення сталої

Обчислення сталої на станції її визначення виконувалось за такою формулою [10]

$$c = \frac{S_{12} \cos v_{12} \cos \beta_1 + S_{32} \cos v_{32} \cos \beta_3 - S_{13} \cos v_{13}}{\cos v_{13} - \cos v_{12} \cos \beta_1 - \cos v_{32} \cos \beta_3}, \tag{1}$$

де $v_{ij} = B_{ij} - MO$, MO – місце нуля вертикального круга (у цьому випадку $MO=0$), $\beta_1 = \Gamma_{12} - \Gamma_{13}$, $\beta_2 = \Gamma_{31} - \Gamma_{32}$. Значення сталої, обчисленої за формулою (1), враховує просторове положення вимірюваних ліній.

Значення сталої на станції її визначення обчислювалось за такими формулами [8; 11; 10]:

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32}, \tag{2}$$

в якій не враховано просторове положення ліній та

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32} + \frac{\Delta_\Gamma^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right) + \frac{(\Delta'_B)^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right), \tag{3}$$

де $\Delta_\Gamma = S_{12} \cos v_{12} \sin \beta_1$ – поперечний зсув середнього штатива відносно створної лінії крайніх у плані, $\Delta'_B = \frac{S_{13}}{2} \operatorname{tg}(v_{13} - v_{12})$ – зсув середнього штатива відносно створної лінії крайніх по висоті. Причому в останньому випадку перший цикл вимірювань виконується згідно з рис. 2, другий цикл є спрощеним (рис. 4). З нього виключають вимірювання: Γ_{32} , Γ_{31} , B_{32} і така маніпуляція, як перенесення відбивача зі штатива № 2 на штатив № 1.

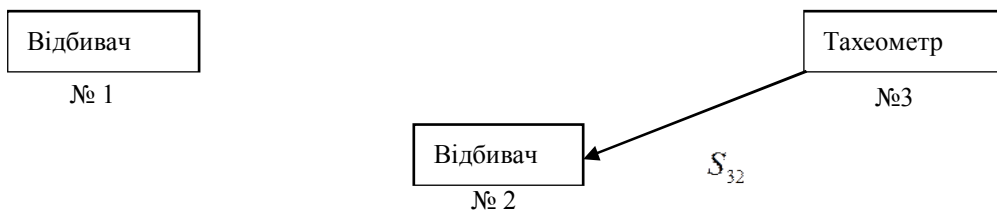


Рис. 4. Другий цикл вимірювань на станції визначення сталої для квазістворного безбазисного способу визначення сталої

Практично, у цьому випадку на станції визначення сталої економиться третина часу. З огляду на тривалість вимірювань – 4 години 10 хвилин за методикою позастворного способу – економія часу становить 1 годину 20 хвилин. Тому 28 прийомів за скороченою методикою вимагало б 2 години 50 хвилин.

У таблиці наведено результати розрахунків сталої віддалеміра для електронного тахеометра Trimble 3305 DR та відбивача для електронного віддалеміра СТ-5 «Блеск». Значення c_{1i} на кожній станції визначаються за формулою (2), що відповідає створному безбазисному способу; значення c_{2i} визначаються за формулою (3), що відповідає квазістворному безбазисному способу; значення c_{3i} визначаються за формулою (1), що відповідає безбазисному позастворному способу визначення сталої. Кут нахилу створної лінії, яка з'єднувала прилади на крайніх штативах, не перевищував $3,7^\circ$. Найбільше зміщення середнього штатива у плані та по висоті відносно створної лінії крайніх штативів зафіксовано на станції № 26 (табл.), яке становило у просторі $\Delta = \sqrt{\Delta_G^2 + (\Delta'_B)^2} = \sqrt{141^2 + 126^2} = 189$ (мм). У таблиці значення c_{ji} вказані за абсолютною величиною. В наведених умовах проведення вимірювань середні значення сталої віддалеміра становили: для створного безбазисного способу $c_{1cep.} = -42,66$ мм; для квазістворного безбазисного способу $c_{2cep.} = -41,14$ мм; для безбазисного позастворного способу $c_{3cep.} = -41,04$ мм.

Таблиця

Результати розрахунків сталої віддалеміра для електронного тахеометра Trimble 3305 DR та відбивача для електронного віддалеміра СТ-5, мм

№ n/n	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	Δ_{Gi}	Δ'_{Bi}	S_{13i}	S_{12i}	S_{32i}
1	39,34	39,09	39,12	10	78	20454,00	10127,67	10365,67
2	41,97	41,13	41,07	66	68	20475,67	10085,00	10432,67
3	42,86	42,45	42,27	58	75	20483,67	10108,33	10418,67
4	42,67	42,26	42,27	1	65	20494,00	10116,67	10420,00
5	42,33	41,97	41,79	21	58	20478,00	10232,33	10228,00
6	41,66	40,92	40,8	41	78	20489,00	10100,33	10430,33
7	41	39,65	39,68	71	94	20498,00	10026,00	10513,00
8	41,67	40,09	40,01	95	84	20495,00	10067,00	10469,67
9	39,96	39,11	39,2	43	85	20494,67	10001,33	10533,33
10	43,03	40,54	40,52	133	87	20523,33	9482,67	10583,67
11	44,63	43,59	43,54	50	92	20532,67	9919,00	10658,33
12	48	46,1	46,08	105	93	20526,67	9894,00	10680,67
13	44,33	41,14	41,16	156	93	20615,00	10016,00	10643,33
14	46,37	45,13	45,04	61	93	20669,33	10006,67	10709,00
15	43,67	42,6	41,67	48	93	20707,00	9989,67	10761,00
16	43	40,55	40,51	130	92	20749,00	10074,00	10718,00
17	42,34	41,38	41,37	34	87	20714,00	10007,67	10748,67
18	42	39,01	39,06	138	109	20694,00	9915,00	10821,00
19	41,03	38,74	38,23	108	108	20686,33	10114,33	10613,00
20	41,97	40,77	40,48	46	103	20732,67	10289,00	10701,67
21	40	38,26	38,29	84	105	20695,00	10128,00	10607,00
22	40,97	39,29	39,25	85	102	20755,67	10194,67	10602,00
23	44,33	42,14	42,17	105	109	20779,00	10217,33	10606,00
24	40,7	39,38	39,14	34	111	20779,33	10243,67	10576,33
25	45,34	43,57	43,58	9	135	20819,00	10223,67	10640,67
26	44,67	41,23	41,11	141	126	20795,00	10227,67	10612,00
27	42,33	40,3	40,27	61	132	20810,00	10270,00	10582,33
28	42,3	41,39	41,44	5	99	20698,67	10265,67	10475,33
C_{cep}	- 42,66	- 41,14	- 41,04					

За найбільш достовірне значення сталої віддалеміра приймається $c_{3сер.} = -41,04$ мм, оскільки для його визначення враховано просторові положення ліній S_{ij} . Найбільш близьке до нього є $c_{2сер.} = -41,14$ мм з різницею між ними $c_{2сер.} - c_{3сер.} = -41,14 + 41,04 = -0,10 = -0,1$ мм, де частково враховане просторове положення ліній, та наближеним є значення $c_{1сер.} = -42,66$ мм з різницею, що дорівнює $c_{1сер.} - c_{3сер.} = -42,66 + 41,04 = -1,64 = -1,6$ мм, для визначення якого взагалі не враховувалось просторове положення ліній. Тобто вважалось, що виміряні лінії знаходяться на одній прямій. Звернемо увагу, що середній штатив не знаходився строго по середині між крайніми. Нерівність плечей досягала 1,1 м на станції № 10, а значення сталої $c_{2,10} = -40,54$ мм, що не є тим значення, яке найбільше відрізняється від $c_{3сер.} = -41,04$ мм (табл.).

Були виміряні просторові параметри ліній ще на одній станції, результати яких не враховувались для визначення середніх значень сталої. Значення параметрів становили: $S_{13} = 20\,617,3$ мм; $S_{12} = 10\,225,33$ мм; $S_{32} = 10\,448,67$ мм; $\Delta_G = 220$ мм; $\Delta'_B = 300$ мм; ($\Delta = 372$ мм). Отримано: $c_{1,10} = -56,70$ мм; $c_{2,10} = -43,27$ мм; $c_{3,10} = -43,16$ мм. У цьому випадку для значного відхилення середнього штатива від створної лінії крайніх, яке становить близько 40 см, створний спосіб визначення сталої дає взагалі неприйнятні результати. Водночас, значення сталої, визначене за методикою квазістворного способу, близьке до значення сталої, отриманого за методикою позастворного безбазисного способу, як найбільш точного серед наведених способів.

Висновки. В результаті експериментальних досліджень були підтверджені теоретичні положення та аналітичні розрахунки, покладені в основу удосконаленого безбазисного способу визначення сталої електронного віддалеміра, що дістав назву безбазисного квазістворного способу. Для відстані між крайніми штативами близько 20 м, кута нахилу місцевості близько 4° , відхилення у просторі середнього штатива відносно створної лінії крайніх до 20 см середнє значення сталої віддалеміра, отримане з 28 прийомів її визначення за методикою безбазисного квазістворного способу, становило 41,1 мм для пари: електронний тахеометр Trimble 3305 DR – відбивач світловіддалеміра СТ-5. Воно збігається зі значенням сталої, отриманої за методикою безбазисного створного способу з точністю до 0,1 мм. Застосування в таких умовах методики безбазисного створного способу не доцільно.

Використання квазістворного безбазисного способу визначення сталої електронного віддалеміра дозволяє зменшити на третину час польової реалізації в порівнянні з безбазисним створним способом без втрати точності з визначення сталої за умови дотримання встановлених [11] допусків.

Список використаних джерел

1. Терещук О. І. Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV) у мережі EPN / О. І. Терещук, І. О. Нисторяк // Технічні науки та технології. – 2015. – № 1. – С. 130–140.
2. Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторяк // Інженерна геодезія. – 2014. – № 61. – С. 58–77.
3. Терещук О. І. Дослідження конструкції опори антени перманентної GPS-станції «Чернігів» / О. І. Терещук, В. В. Суравець, В. І. Мовенко // Вісн. геодез. та картогр. – 2006. – № 3. – С. 8–10

4. Патент 82874 Україна. ПМК G01C 7/00 Спосіб побудови геодезичної опорної фігури / В. Г. Бурачек, І. О. Нисторьяк, О. І. Терещук, ЧДІЕУ. – № u 2012 08638 ; заявл. 12.07.2012 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.
5. Терещук О. І. Відновлення міських полігонометричних мереж сучасними супутниковими технологіями / О. І. Терещук, І. О. Нисторьяк, Р. В. Шульц // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2015. – Вип. 82. – С. 59–72.
6. Патент. 93119 Україна. МПК (2011.01), G01C7/00. Спосіб згущення геодезичної мережі / Байса Д. Ф., Боровий В. О., Бурачек В. Г., Крельштейн П. Д., Крячок С. Д. – № а 2009 06037 ; заявл. 11.06.2009 ; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.
7. Крячок С. Д. Побудова полігонометричних мереж зустрічними ходами / С. Д. Крячок, Л.С. Мамонтова // Вісн. геодез. і та картограф. – 2014. – № 5. – С. 9–12.
8. Крячок С. Д. До визначення постійної поправки електронних віддалемірів / С. Д. Крячок // Вісн. геодез. та картогр. – 2015. – № 2. – С. 4–7.
9. Ворошилов А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра / А. П. Ворошилов // Геопрофи. – 2005. – № 4. – С. 46–47.
10. Крячок С. Д. К вопросу определения постоянной поправки электронного дальномера в полевых условиях / С. Д. Крячок // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2015. – № 16 (1). – С. 175–180.
11. Крячок С. Д. Удосконалення безбазисного створного способу визначення сталої електронного віддалеміра / С. Д. Крячок // Технічні науки та технології. – 2016. – №1 (3). – С. 130–139.

References

1. Tereshchuk, O.I. & Nystoriak, I.O. (2015). Dosvid fvnkcyonuvania permanentnoi GNSS-stantcii «Chernihiv» (CNIV) u merezhi EPN [Experience in the operation of permanent GNSS-station "Chernihiv" (CNIV) in the network EPN]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 1, pp. 130–140 (in Ukrainian).
2. Chultc, R.V., Tereshchuk, O.I., Annenkov, I.O., Nystoriak, I.O. (2014). Praktichni doslidzhenia tochnosti viznachenia koordinat za suputnikovimi teshnolohiiami u realnomu chasi [Practical investigation of accuracy of definition of coordinates over satellite technology in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering Geodesy*, no. 61, pp. 58–77 (in Ukrainian).
3. Tereshchuk, O.I., Surovets, V.V., Movenko, V.I. (2006). Doslidzhenia konstruktsii opori anteni permanentnoi GNSS-stantcii «Chernihiv» [Study of the design of the antenna support of a permanent GPS – station "Chernihiv"]. *Visnik heodezii ta kartohrafiu – Journal of Geodesy and Cartography*, no. 3, pp. 8–10 (in Ukrainian).
4. Burachek, V.H., Nystoriak, I.O. & Tereshchuk, O.I. (2013). *Sposib pobudovi heodezichnoi opornoj fihuri [The method of constructing geodetic reference figure]*. Patent Ukrain No. 82874.
5. Tereshchuk, O.I., Nystoriak, I.O. & Chultc, R.V. (2015). Vidnovlenia miskikh polihonometrichnykh merezh cuhsnimi suputnikovimi tekhnolohiiami [The restoration of urban polygonometries networkes of modern satellite technology]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimania – Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 3, pp. 59–72 (in Ukrainian).
6. Baisa, D.F., Borovii, V.O., Durachek, V.H., Krelshtein, P.D. & Kryachok, S.D. (2011). *Sposib zhushchenia heodezichnoi merezhi [The method of thickening of geodetic network]*. Patent Ukraine No. 93119.
7. Kryachok, S.D. & Mamontova, L.S. (2014). Pobudova poligonometrychnykh merezh zustrichnymy khodamy [Building of polygonal networks by counter-moves]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiu - Journal of Geodesy and Cartography*, no 5, pp. 9-12 (in Ukrainian).
8. Kryachok S.D (2015). Do vyznachennia postiynoi popravky elektronnyh viddalemiriv [To determination of constant correction electronic rangefinder]. *V Visnik heodezii ta kartohrafiu – Journal of Geodesy and Cartography*, no. 2, pp. 4–7 (in Ukrainian).
9. Voroshylov, A.P. (2005). Opredelenie postoyannoy popravki dalnomera elektronnoho takheometra [Determination of constant amendments of EDM Total Station]. *Geoprofi – Geoprofi*, no. 4, pp. 46–47 (in Russian).
10. Kryachok, S.D (2015). K voprosu opredeleniia postoyannoi popravki elektronnoho dalnomera v polevykh usloviiah [On the determination of constant correction electronic rangefinder in field conditions]. *Vesnik Polotskogo gosudarstvenogo universiteta. Serii F. Stroitelstvo. Prikladnyie nauki*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

– *Herald of the Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Science*, no. 16 (1), pp. 175–180 (in Russian).

11. Kryachok, S.D (2016). Udoskonalennia bezbazysnoho stvornoho sposobu vyznachennia staloi elektronnoho viddalemira [Improvement of method determining constant correction electronic rangefinder with installation of the devices in line]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 1 (3), pp. 130–139 (in Ukrainian).

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14097, Україна).

Крячок Сергей Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14097, Украина).

Kryachok Serhiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14097 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kryachock.serg@yandex.ru

Потеруха Валентин Олександрович – магістрант, студент 6-го курсу, групи МЗК-111, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14097, Україна).

Потеруха Валентин Александрович – магистрант, студент 6-го курса, группы МЗК-111, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14097, Украина).

Poterukha Valentyn – master student, student of 6th year, the group MZK-111, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14097 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: valentin.poteruxa@gmail.com

УДК 004.912

*Олексій Кунгурцев, Сергій Ковальчук, Яна Поточняк, Максим Широкоступ***ПОБУДОВА СЛОВНИКА ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ НА ОСНОВІ
АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ТЕКСТІВ УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ***Алексей Кунгурцев, Сергей Ковальчук, Яна Поточняк, Максим Широкоступ***ПОСТРОЕНИЕ СЛОВАРЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА УКРАИНСКОМ ЯЗЫКЕ***Alexei Kungurtsev, Serhiy Kovalchuk, Iana Potochniak, Maxim Shirokostup***CREATING THE DOMAIN VOCABULARY ON THE BASIS OF AUTOMATED
ANALYSIS OF UKRAINIAN TEXTS**

Розроблено метод побудови словника предметної області за допомогою аналізу текстів українською мовою. Розроблено алгоритми для автоматизованого аналізу текстів українською мовою. Представлено алгоритми виділення речень з урахуванням переліків у тексті. Запропоновано метод опису таблиць термінів та процес формування таблиці термінів. Описано процес виділення термінів та занесення їх до сформованої таблиці термінів.

Ключові слова: інформаційна система, синонім, термін, синтаксичний аналізатор, предметна область.

Бібл.: 20.

Разработан метод построения словаря предметной области путем анализа текстов на украинском языке. Разработаны алгоритмы для автоматизированного анализа текстов на украинском языке. Представлены алгоритмы выделения предложений с учетом перечней в тексте. Предложен метод описания таблиц терминов и процесс формирования таблицы терминов. Описан процесс выделения терминов та внесение их в сформированную таблицу терминов.

Ключевые слова: информационная система, синоним, термин, синтаксический анализатор, предметная область.

Библ.: 20.

Developed the method of creating the domain vocabulary on basis automated analysis of Ukrainian texts. Developed the algorithms for automated analysis of Ukrainian texts. Developed the algorithms for search process of the sentences. Invented the method of description the tables of terms and formation process of the tables of terms. Described the selection process of the terms and saving them in table of terms.

Key words: information system, synonym, term, parser, domain knowledge.

Bibl.: 20.

Постановка проблеми. На сьогодні інформаційні системи (ІС) все ширше використовуються в різних сферах діяльності. Відповідно до цього збільшується кількість користувачів, які хочуть отримати доступ до інформації, яка зберігається в ІС [1]. З часом виникла потреба створення способу спілкування між некваліфікованим користувачем і ІС. Використання шаблонних запитів до реляційної бази даних не є повноцінним, оскільки ці шаблони не можуть врахувати всі бажання користувачів [2; 3]. Найкращим варіантом для цього є природня мова (ПМ) в інтерфейсному представленні. ПМ як інтерфейс інформаційних систем має вагомні переваги в порівнянні з іншими формами спілкування користувача з ІС. Ці переваги особливо вагомні для некваліфікованих користувачів [4; 5].

В основі проектування ІС лежить моделювання предметної області (ПрОб). Під моделлю ПрОб розуміється деяка система, що імітує структуру або функціонування досліджуваної ПрОб і відповідає основній вимозі – бути адекватною цій галузі [6]. Словники предметної області необхідні для реалізації систем управління в галузях техніки [7], медицини [8], в експертних системах [9]. Тому основним завданням є створення словника деякої ПрОб, для якої буде розроблятися ІС. Цей словник дозволить коректно записати вимоги, зрозуміти їхню суть та виділити об'єкти в предметній області. В подальшій розробці ІС створений словник ПрОб буде основою для побудови інтерфейсу користувача на ПМ. Побудова словника ПрОб створить можливість знаходити потрібні документи і фрагменти тексту серед раніше проаналізованих документів. Новизна полягає в побудові словника ПрОб для текстів українською мовою та введення індексації термінів у тексті. Терміни предметної області дозволяють формалізувати властивості різних предметних областей [10]. У перспективі індексування термінів дасть можливість пошуку документів і фрагментів тексту на основі статистичних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання щодо створення інтерфейсу для спілкування користувачів з інформаційними системами на ПМ неодноразово порушувались та обговорювались [11]. Але все ж залишаються проблеми щодо аналізу текстів предметної області і виділення в них ключових слів [12]. Особливо ця проблема притаманна для української мови, оскільки немає інформації про побудову автоматизованого словника ПрОб на українській мові. Відповідно, суть проблеми полягає також у наявності програмних продуктів, які здійснюють синтаксичний аналіз тексту українською мовою. Здебільшого такі програмні продукти представлені в межах великих програмних комплексів. І саме наявність відкритого коду дає змогу застосувати потрібний модуль для синтаксичного аналізу українського тексту і знаходження термінів у тексті [13].

Термін і ключове слово тісно пов'язані, але є різними поняттями. Термін – слово або словосполучення, що визначає чітко й однозначно окреслене поняття і його співвідношення з іншими поняттями в межах спеціальної сфери. Ключове слово – слово або сталий вислів ПМ, яке використовують для вираження деякого аспекту змісту документа. Відповідно, термінів у тексті може бути значно більше, ніж ключових слів. У цій роботі здійснюється пошук термінів. Знаходження ключових слів у наукових текстах за допомогою стеммера Портера вже було розглянуто в роботі [14].

На підставі аналізу загальних тверджень [15], текст характеризувався тільки кількістю входжень ключових слів у тексті. Не можна було виділити фрагмент тексту найбільш інтенсивно використовуваного терміна. Також не можна було виділити окремих документів або фрагментів документів, в яких існує певне поєднання термінів.

Це все приводить до того, що потрібно не тільки знати кількість термінів у тексті, але і їхній розподіл по тексті. Відповідно до цього виникає проблема виявлення позицій термінів. Сучасні рішення пропонують різні методи пошуку текстової інформації для знаходження позицій ключових слів [16]. Всі вони передбачають виконання повторного пошуку по тексті, щоб знайти потрібний термін. Щоб уникнути подібних повторень, застосовується індексація термінів. Це забезпечує тільки одне проходження по тексті з метою виявлення позицій термінів, весь подальший пошук здійснюється за допомогою наявності індексованих термінів. У реляційних базах даних індексація є звичайною практикою, а основи індексування описані [17]. Проте в ІС з використанням інтерфейсу ПМ індексування термінів у текстах використовується не завжди, незважаючи на певні переваги.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. За рахунок індексування (запису позицій) термінів у словнику предметної області буде затрачатися менше часу на пошук у тексті. Для створення словника предметної області з урахування позицій термінів у тексті потрібно вирішити такі проблеми.

1. Проаналізувати вхідний текст синтаксичним аналізатором української мови для знаходження в тексті термінів та приведення їх до нормальної форми. Сформувати список термінів з урахуванням кількості повторень у тексті.

2. Проаналізувати вхідний текст і виділити в ньому всі речення з урахуванням правил переліку значень у тексті та інших особливостей тексту.

3. Проаналізувати кожне речення з метою виявлення в них вже знайдених термінів і здійснення індексації термінів.

4. Побудувати словник предметної області відповідно до знайдених термінів і їхніх позицій у тексті. Урахувати можливість наявності синонімів та тлумачень термінів.

У результаті вирішення виділених проблем буде створений словник предметної області, який буде містити в собі всю необхідну інформацію про терміни. Також буде створений службовий файл для кожного вхідного тексту для того, щоб збільшити швидкість пошуку за рахунок індексації термінів.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення методу побудови словника предметної області на основі автоматизованого аналізу текстів українською мовою, що дасть змогу зменшити час на побудову словника.

Синтаксичний аналіз вхідного тексту українською мовою. Для синтаксичного аналізу тексту українською мовою було використано програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом Language Tool, а також модуль для Language Tool, який призначений для роботи з текстом українською мовою language-uk [13]. Цей програмний модуль був модифікований для виконання поставлених цілей. Ця програма підраховує кількість входжень слів, які є іменниками у тексті. Необхідно, щоб на вхід програми поступав текст, а у результаті програма видавала список слів (словосполучень), які є іменниками, із зазначенням кількості входжень кожного слова (словосполучення). Слова (словосполучення) мають бути приведені до початкової форми.

Програмне забезпечення LanguageTool працює на основі словника, тому для слів, які пишуться однаково, неможливо однозначно визначити такі параметри, як рід, число, відмінок тощо. Далі наведено повний список параметрів: *noun* іменник, *adj* прикметник, *adjp* дієприкметник, *adv* прислівник, *prep* прийменник, *numr* числівник, *part* частка, *pron* займенник, *verb* дієслово, *p* множина, *s* одинина, *m* чоловічий, *f* жіночий, *n* середній; відмінки: *v_naz*, *v_rod*, *v_dav*, *v_zna*, *v_oru*, *v_mis*, *v_kly*; *actv* активний, *pasv* пасивний, *nv* не відмінюється, *np* без множини, *pres* теперішній час, *3* 3-а особа, *perf* dokonane, *imperf* недоконане, *tran* перехідне, *intran* неперехідне, *coord* сурядний (сполучник), *subord* підрядний (сполучник), *compb* базова форма, *def* означальний, *rel* відносний, *int* питальний, *ind* неозначений, *anim* істота (людина/людиноподібна істота).

Через неоднозначність у результаті роботи програма для деяких слів повертає набір можливих форм слів, які отримано у результаті визначення параметрів, а також набір форм, які було отримано у результаті узгодження іменника і прикметника (дієприкметника).

Алгоритм роботи синтаксичного аналізатора української мови:

1. Розбивка тексту на слова (LanguageTool).
2. Видалення слів зі списку, які повинні ігноруватись.
3. Вибирається слово. Проводиться морфологічний розбір слова (LanguageTool).
4. Якщо слово є іменником, виконуємо для нього п. 5. Перевірка чи є попереднє і наступне слово прикметником (дієприкметником), якщо так, то узгоджуємо його із іменником і виконуємо для нього п. 5.

5. Перевірка чи є вхідне слово (словосполучення) унікальним для результуючого списку, якщо так, то додаємо його у список, якщо ні, то збільшуємо значення змінної, яка відповідає за кількість входжень слова у текст на 1.

6. Якщо у вхідному спискові є ще слова, то виконується перехід до пункту 3.

Виділення термінів. Для виділення термінів на цьому етапі не потрібно виділяти повноцінні речення. Виділення речень відбувається примітивно, враховуючи тільки знаки закінчення речення: «.», «!», «?». Це потрібно для того, щоб не допустити наявності знаків закінчення речення між елементами терміна. На цьому етапі не враховується належність терміна до конкретного речення.

Для того, щоб виділити терміни, потрібно здійснити два проходи по тесту. На першому проході потрібно знайти всі іменники, які будуть термінами на цьому етапі.

Уявімо аналізований текст T у вигляді множини умовних речень S :

$$T = \{S_i\} i = 1, n, \quad (1)$$

а кожне речення – у вигляді послідовності елементів e (слів і знаків пунктуації):

$$e_1, \dots, e_l, \dots, e_m. \quad (2)$$

Кожен елемент буде характеризуватися текстом N та множиною атрибутів A :

$$e = \langle N, A \rangle. \quad (3)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Визначимо деякі з атрибутів. Нехай $A1$ є частиною мови, $A2$ – число, $A3$ – рід, $A4$ – особа, $A5$ – відмінок, $A6$ – час.

Знаходимо в кожному реченні іменники *noun*. Якщо виконується умова:

$$e_i \rightarrow A1 = \text{noun}, \quad (4)$$

то як термін приймається $tx = e_i$.

На другому проході шукаємо частоти спільної появи виділених раніше іменників і сусідніх слів. Потрібно врахувати природні обмеження довжини стійкого словосполучення, такі як: розділові знаки; слова, які не можуть входити в термін (наприклад, займенник); обмеження по довжині (не більше 3 слів зліва і з права від раніше виявленого терміна).

Нехай досліджувана група має вигляд:

$$C_{x-3} + C_{x-2} + C_{x-1} + tx_x + C_{x+1} + C_{x+2} + C_{x+3}, \quad (5)$$

де $C_{x-3} - C_{x+3}$ – слова (можливі кандидати на входження в словосполучення).

Здійснюємо прохід вліво. Якщо виконується умова:

$$C_{x-1} \rightarrow \text{agj} \wedge (tx_x \rightarrow A2 = C_{x-1} \rightarrow A2) \wedge (tx_x \rightarrow A3 = C_{x-1} \rightarrow A3) \wedge (tx_x \rightarrow A5 = C_{x-1} \rightarrow A5), \quad (6)$$

то як термін приймається $tx_x = C_{x-1} + tx_x$. Робимо повторні дії до кінця лівого порогу для слів C_{x-2}, C_{x-3} .

Після закінчення проходу вліво здійснюємо прохід вправо. Якщо виконується умова:

$$C_{x+1} \rightarrow \text{agj} \wedge (tx_x \rightarrow A2 = C_{x+1} \rightarrow A2) \wedge (tx_x \rightarrow A3 = C_{x+1} \rightarrow A3) \wedge (tx_x \rightarrow A5 = C_{x+1} \rightarrow A5), \quad (7)$$

то як термін приймається $tx_x = tx_x + C_{x+1}$. Робимо повторні дії до кінця правого порогу для слів C_{x+2}, C_{x+3} .

Якщо вказані умови не виконуються, то нові терміни не додаються.

Виявляємо частоти появ можливих термінів: $tx_x + C_{x+1}$, $tx_x + C_{x+1} + C_{x+2}$, $tx_x + C_{x+1} + C_{x+2} + C_{x+3}$, $C_{x-1} + tx_x$, $C_{x-2} + C_{x-1} + tx_x$, $C_{x-3} + C_{x-2} + C_{x-1} + tx_x$, $C_{x-1} + tx_x + C_{x+1}$, $C_{x-2} + C_{x-1} + tx_x + C_{x+1} + C_{x+2}$ тощо.

Встановлюємо поріг мінімальної частоти для словосполучення. У випадку, коли однослівний термін зустрічається як самостійно, так і в словосполученні, то потрібно створити два відповідні терміни. Якщо є конкуруючі словосполучення, це означає, що всі вони є в списку термінів.

Результатом роботи такого синтаксичного аналізатора є два списки: *список № 1* містить у собі всі терміни в початковій формі з вказаною кількістю повторень у тексті для кожного; *список № 2* містить у собі всі терміни в тому вигляді, в якому вони зустрічаються в тексті, також біля кожного такого слова записана його початкова форма. Для подальшого аналізу вхідного тексту буде використовуватися *список № 2*.

Для того, щоб дізнатися позиції термінів у тексті, потрібно проаналізувати вхідний текст на наявність перелічень, і врахувати це при розділенні тексту на речення. Після цього потрібно розділити вхідний текст на речення, кожне речення записується з нового рядка службового файла.

Формування рядків з урахуванням правил переліку в тексті. Перед початком аналізу тексту потрібно перевести вхідний текст T у формат $*.txt$ і результат (вихідний текст) Tr_1 теж записується у форматі $*.txt$.

Кожен текст може складатися з певних перелічень, які записуються з нового рядка, при цьому не несуть повну інформацію, оскільки не є повноцінними реченнями. Потрібно проаналізувати текст на наявність у ньому переліків і об'єднати їх у повноцінні речення відповідно до знаків пунктуації.

Вхідний текст T може характеризуватися не тільки реченнями (1), а ще і складається з множини рядків R , відповідно $T = \{R_q\} q = 1, b$.

Для початку потрібно проаналізувати всі рядки R_q вхідного тексту T на наявність у тексті різного типу переліків *Type*, а саме простих *Simple* і складних *Complex* переліків.

Кожний рядок R_q складається з множини елементів, $R_q = \{e_t\} t = 1, v$. Здійснюємо прохід по кожному рядку R_q відповідно до розміру $q = v$ вхідного тексту T .

Крок 1. Першим кроком аналізуємо останній символ елементу e_v кожного рядка R_q .

Крок 2. Якщо останній елемент e_v рядка R_q закінчується символом «:» $e_v = ':'$ і відзначено, що перелік ще не розпочинався, то додаємо рядок R_q в вихідний текст $Tr_1 = \{R_w\} w = 1, x$. Перед додаванням рядків вихідний текст $Tr_1 = \emptyset$. Відзначаємо, що перелік розпочався і наступний рядок R_{q+1} тексту T буде входити до цього переліку (*Type* = *Simple*), якщо останній елемент e_v рядка R_q не закінчується символом «:» $e_v[end] \neq ':'$, то переходимо до наступного пункту.

Крок 3. Якщо останній елемент e_v рядка R_q закінчується символом «:» $e_v[end] = ':'$ і відзначено, що перелік розпочався, то додаємо рядок R_q у вихідний текст Tr_1 (*Type* = *Complex*), в іншому випадку переходимо до наступного кроку.

Крок 4. Якщо останній елемент e_v рядку R_q закінчується символом «;» $e_v[end] = ';'$ або символом «,» $e_v[end] = ','$ за умови, що перелік розпочався, то до рядка R_{w-1} вихідного тексту Tr_1 додається рядок R_q ($R_{w-1} \in Tr_1$) = $(R_{w-1} \in Tr_1) + (R_q \in T)$, відзначаємо, що триває об'єднання переліку в один рядок. В іншому випадку переходимо до наступного кроку.

Крок 5. Якщо знайдено останній пункт переліку, тобто останній елемент e_v закінчується символом «.» $e_v[end] = '.'$, то до рядка R_{w-1} вихідного тексту Tr_1 додається рядок R_q вхідного тексту T , відзначаємо, що перелік і об'єднання закінчено, в іншому випадку переходимо до наступного кроку.

Крок 6. Якщо перераховуються окремі речення, які закінчуються елементом e_v з останнім символом «.» $e_v[end] = '.'$, то такі пункти не входять до переліку і записуються як окремі рядки R_w вихідного тексту Tr_1 .

Крок 7. Якщо ні одна з умов не була виконана, то рядок R_q вхідного тексту T копіюється у вихідний текст Tr_1 без змін і без відміток про початок переліку.

Вихідний текст $Tr_1 = \{R_w\}$ переходить до наступної стадії оброблення.

Виділення речень. Виділення повноцінних речень відбувається за допомогою регулярних виразів.

Для коректного виділення речень у тексті потрібно дотримуватися таких правил:

1. Повноцінно закінченим реченням вважається речення, яке закінчується символом «.» або «!» або «?». Також можна вважати кінцем речення символ кінця рядку ($\backslash n$).
2. Кожне наступне речення розпочинається з великої літери.
3. Якщо речення розпочинається з нумерації типу «1. Текст.», то нумерацію «1.» потрібно віднести до цього речення.
4. Якщо в реченні зустрічається скорочення типу «і т. д.», то потрібно відносити його до складу цього речення.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Якщо в реченні зустрічаються ініціали типу «Т. Г. Шевченко» або «Т. Шевченко», то потрібно відносити їх до складу цього речення.

6. У випадку, коли в реченні зустрічається текст у дужках «()», потрібно все, що міститься в дужках, віднести до складу цього речення.

Потрібно проаналізувати текст Tr_1 (результат попереднього етапу) і виділити із рядків R_w повноцінні речення, які будуть занесені до результуючого тексту Tr , який складається з множини речень S_j , $Tr = \{S_j\}, j=1, z$. До моменту аналізу вхідного тексту Tr_1 , $Tr = \emptyset, j = 0$.

Кожен рядок R_w складається з цілого числа речень S , яких може бути 1 або більше. Виділення речень відбувається для кожного рядка R_w окремо відповідно до їхньої послідовності. Речення може розпочинатися як зі слова з великої літери, так і з нумерації.

Кожен рядок R_w можна також представити у вигляді послідовності символів, а не тільки як послідовність елементів (2),

$$el_1, \dots, el_r, \dots, el_u, \dots, el_h. \tag{8}$$

Введемо деякі позначення для визначень речень:

Велика літера – $((A - Я) \vee (A - Z)) \rightarrow Big$.

Маленька літера – $((a - я) \vee (a - z)) \rightarrow Small$.

Не літера – $\neg((A - Я) \vee (A - Z) \vee (a - я) \vee (a - z)) \rightarrow notBS$.

bg – початок рядка.

en – кінець рядка.

Визначення окремих фрагментів речення:

1. Слово (або літера), яке розпочинається з великої літери:

$$A_r \in ((el_{r-1} = [bg]) \vee (el_{r-1} = [notBS])) \wedge ((el_r = [Big]) \wedge \dots \wedge (el_u = [Big \vee Small])) \wedge (el_{u+1} = [notBS]).$$

2. Слово (або літера), яке розпочинається з маленької літери:

$$A2_r \in (el_{r-1} = [notBS]) \wedge ((el_r = [Small]) \wedge \dots \wedge (el_u = [Big \vee Small])) \wedge (el_{u+1} = [notBS]).$$

3. Закінчення речення:

$$B_r \in ((el_{r-1} = '!') \vee (el_{r-1} = '!') \vee (el_{r-1} = '?')) \wedge (((el_r = '!') \wedge A_{r+1}) \vee (el_r = en)).$$

4. Нумерація:

$$C_r \in (el_{r-1} = [bg]) \wedge (el_r = [0 - 9]) \wedge \dots \wedge (el_u = [0 - 9]) \wedge (el_{u+1} = '!') \wedge (el_{u+2} = '') \wedge A_{u+3}.$$

5. Ініціали:

$$D_r \in (el_{r-1} = '') \wedge (el_r = [Big]) \wedge (el_{r+1} = '!').$$

6. Скорочення:

$$E_r \in (el_{r-1} = '!') \wedge ((el_r = '') \wedge A2_{r+1}).$$

7. Текст у дужках:

$$F_r \in (el_r = '(') \wedge (el_{r+1} = f) \wedge \dots \wedge (el_u = f) \wedge (el_{u+1} = ')'),$$

де f – будь-які символи.

На основі визначення окремих фрагментів речення можна описати умову виділення речення в тексті:

$$(A_r \vee C_r) \wedge ((A_{r+1} \vee A2_{r+1} \vee D_{r+1} \vee E_{r+1} \vee F_{r+1}) \wedge \dots \wedge (A_u \vee A2_u \vee D_u \vee E_u \vee F_u)) \wedge B_{u+1}. \tag{9}$$

Кожне знайдене речення в тексті Tr_1 записується в новому рядку вихідного тексту Tr . На виході отримуємо вихідний текст $Tr = \{S_j\}$, який переходить до наступної стадії оброблення.

Процес створення таблиці термінів пропонується розділити на декілька етапів. Спочатку формується початкова форма таблиця термінів, в якій міститься інформація, отримана після роботи синтаксичного аналізатора. На основі таблиці початкової форми знаходяться позиції термінів і зберігаються в ній. Наступним кроком пропонується модифікувати початкову форму таблиці термінів до першої форми таблиці термінів. Це дасть змогу відсіяти всю зайву інформацію і дописати потрібну. Наступним етапом потрібно модифікувати першу форму таблиці термінів до основної таблиці термінів, для того, щоб виділити синоніми як терміни. Це дасть змогу прискорити пошук термінів у подальшій роботі. Останнім етапом буде корекція основної таблиці термінів, для усунення повторень між усіма термінами.

Початкова форма таблиця термінів. На основі результатів виявлених термінів із списку № 2 формуємо початкову форму таблиці термінів, яка в подальшому буде використана для знаходження позицій термінів (перше проходження) та формування основної форми таблиці. Представимо початкову форму таблиці термінів у вигляді множини записів $TP = \{tp_{pi}\} pi = 1, pn$. Кожен запис являє собою кортеж:

$$tp_{pi} = \langle tx_{pi}, pf_{pi}, inText_{pi}, countT_{pi}, posR_{pi} \rangle, \quad (10)$$

де tx_{pi} – термін (одне або декілька слів);

pf_{pi} – список можливих початкових форм терміну (якщо вони є);

$inText_{pi}$ – список усіх форм терміну, які зустрічаються в тексті;

$countT_{pi}$ – кількість появ терміна в тексті;

$posR_{pi}$ – список позицій, в яких виявлено термін.

Список позицій, в яких виявлено термін $posR_{pi}$, представимо у вигляді послідовності елементів $er_1, \dots, er_o, \dots, er_{op}$.

Кожен елемент er_o буде характеризуватися атрибутами:

$$er_o = \langle Nr, pos, len \rangle, \quad (11)$$

де Nr – номер речення, в якому знаходиться термін;

pos – номер символу, з якого розпочинається термін (позиція терміна в реченні);

len – кількість символів у терміні (довжина терміна).

На початку список позицій $posR_{pi}$ для кожного терміна tx_{pi} є пустим.

Знаходження позицій термінів. Зчитуємо інформацію з початкової форми таблиці TP про термін tx_{pi} . $inText_{pi}$ – являє собою послідовність елементів, які є списком усіх форм терміна, які зустрічаються в тексті $ep_1, \dots, ep_p, \dots, ep_{pi}$.

За допомогою алгоритму Бойера – Мура [18] здійснюємо пошук ep_p у множині усіх речень S_j тексту Tr . Алгоритм пошуку стрічки Бойера – Мура, вважається найбільш швидким серед алгоритмів загального призначення, призначених для пошуку підрядка в рядку. Алгоритм порівнює символи шаблону ep_p справа наліво, починаючи з самого правого, один за іншим з символами вихідного рядка S_j . Якщо символи збігаються, проводиться порівняння передостаннього символу шаблону і так до кінця. Якщо всі символи шаблону збіглися з накладеними символами рядка, значить, підрядок знайдено, і пошук закінчено. Що стосується розбіжності будь-якого символу (або повного збігу всього шаблону), він використовує дві попередньо обчислювані евристичні функції, щоб зрушити позицію для початку порівняння вправо.

Якщо елемент ep_p знайдено в реченні S_j , то корегуємо записи в таблиці TP . Формуємо список позицій $posT$ терміна, але не заносимо його в таблицю, доки елемент ep_p не буде порівняний з усіма елементами речень S_j . Коли список $posT$ сформований, заносимо його в таблицю $posR_{pi} = posT$ для конкретного терміна.

Здійснюємо повторні дії для кожного терміна tx_{pi} таблиці TP . У результаті буде відомо позиції усіх термінів у тексті.

Перша форма таблиці термінів. Для подальшого аналізу потрібно перетворити початкову таблицю термінів TP до першої форми, відсіюючи непотрібну інформацію і з додаванням необхідної інформації.

Першу форму таблиці термінів TF можна представити у вигляді множини записів $TF = \{tf_{pos}\}_{pos=1, len}$. Кожен запис являє собою кортеж записів:

$$tf_{pos} = \langle tx_{pos}, countT_{pos}, posR_{pos}, synonymT_{pos}, valueT_{pos} \rangle, \quad (12)$$

де $synonymT_{pos}$ – список синонімів терміна;

$valueT_{pos}$ – тлумачення терміна.

Під тлумачним словником предметної області розуміється спеціалізований словник, який дає роз'яснення множині понять, пов'язаних з діяльністю деякої організаційної структури. Кожний запис у словнику представляє одне слово або стійке для цієї предметної області словосполучення, для якого наведене тлумачення, специфічне для цієї предметної області, а також список синонімів.

Метод автоматичної побудови тлумачного словника предметної області розглядався в роботі [19]. Розвитком цієї роботи стало урахування міжфразових зв'язків [20].

Значення таблиці TP буде призначено таблиці TF , а саме $(tx_{pos} \in TF) = (tx_{pi} \in TP)$, $(countT_{pos} \in TF) = (countT_{pi} \in TP)$, $(posR_{pos} \in TF) = (posR_{pi} \in TP)$. Список синонімів $synonymT_{pos}$ формується відповідно до словників синонімів. Тлумачення терміна $valueT_{pos}$ формується відповідно до тлумачних словників.

Список синонімів терміна $synonymT_{pos}$ являє собою послідовність елементів (синонімів) $Sn_1, \dots, Sn_{sb}, \dots, Sn_{sf}$. Список позицій термінів $posR_{pos}$ являє собою послідовність елементів $p_1, \dots, p_{ps}, \dots, p_{pf}$.

Основна форма таблиці термінів. Результатом аналізу першої форми таблиці TF , буде основна таблиця термінів TT . Представимо основну таблицю термінів у вигляді множини записів $TT = \{tt_{int}\}_{int=1, nt}$. Кожен запис являє собою кортеж:

$$tt_{int} = \langle tx_{int}, Group_{int}, countT_{int}, posR_{int}, valueT_{int} \rangle, \quad (13)$$

де $Group_{int}$ – номер групи термінів (спільна група означає, що терміни є синонімами).

У результаті заповнення таблиці термінів TT даними з таблиці термінів першої форми TF , будемо мати такі результати.

$$(tx_{int} \in TT) = (tx_{pos} \in TF), (tx_{int+1} \in TT) = (Sn_1 \in TF), \dots, (tx_{int+b} \in TT) = (Sn_b \in TF), \dots, (tx_{int+f} \in TT) = (Sn_f \in TF);$$

$$(Group_{int} \in TT) = gr, (Group_{int+1} \in TT) = gr, \dots, (Group_{int+b} \in TT) = gr, \dots, (Group_{int+f} \in TT) = gr,$$

де gr – індивідуальний номер групи;

$$(countT_{int} \in TT) = (countT_{pos} \in TF), (countT_{int+1} \in TT) = null, \dots, (countT_{int+b} \in TT) = null, \dots, (countT_{int+f} \in TT) = null;$$

$$(posR_{int} \in TT) = (posR_{pos} \in TF), (posR_{int+1} \in TT) = null, \dots, (posR_{int+b} \in TT) = null, \dots, (posR_{int+f} \in TT) = null;$$

$(value_{int} \in TT) = (value_{pos} \in TF), (value_{int+1} \in TT) = null, \dots, (value_{int+b} \in TT) = null, \dots, (value_{int+f} \in TT) = null.$

Наступним кроком потрібно порівняти терміни між різними групами, щоб уникнути повторень. Якщо виявиться, що терміни однієї групи збігаються з термінами іншої, то потрібно дані з другої групи додати до першої групи і видалити другу групу. Групування термінів дозволяє в подальшому використанні здійснювати швидший пошук терміна.

Висновки і пропозиції. Розроблений метод побудови словника предметної області на основі автоматизованого аналізу тексту дозволяє зменшити час на побудову словника. Розроблено метод синтаксичного аналізу тексту української мови. Представлено алгоритми аналізу тексту для можливості здійснення індексації термінів. Реалізовано алгоритм побудови словника предметної області на основі попереднього аналізу тексту. Передбачена можливість додавання синонімів та тлумачень до кожного терміна. Для кожного вхідного тексту передбачено створення службової копії з структурою відповідно до представлених алгоритмів. Відповідно до наведених аналізу й алгоритмів було розроблено програмний продукт, який дав змогу створити словник для предметної області. Дослідження за методом з роботи [19] показали, що час створення словника скоротився орієнтовно в 5 разів у порівнянні зі створенням словника вручну.

Список використаних джерел

1. *Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика* / Е. И. Большакова, Э. С. Клышинский, Д. В. Ландэ, А. А. Носков, О. В. Пескова, Е. В. Ягунова. – М. : МИЭМ, 2011. – 272 с.
2. *Bates, M. Models of natural language understanding. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 92, No. 22 (1995), pp. 9977–9982.*
3. *Кунгурцев О. Б. Формування шаблонів запитів до реляційної бази даних з використанням об'єктного словника* / О. Б. Кунгурцев, І. В. Барикіна, О. А. Завалін // Наукові праці ОНХАТ. – 2004. – Вип. 27. – С. 233–236.
4. *Акимов О. М. Интеллектуализация интерфейса базы данных* / О. М. Акимов, В. А. Шапцев // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314, № 5. – С. 137–139.
5. *Steven Bird, Ewan Klein, Edward Loper. Natural Language Processing with Python. (2009), Published by O'Reilly Media. – 481 p.*
6. *Методологии моделирования предметной области [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.intuit.ru/studies/courses/2195/55/lecture/1628>.*
7. *Рувинская В. М. Словарь предметной области для разработки экспертной системы* / В. М. Рувинская, А. С. Тройнина, Д. А. Силяев // Труды Международной научно технической конференции «Информационные технологии в металлургии и машиностроении» (Днепропетровск, 24–26.03.2015). – Днепропетровск, 2015. – С. 44.
8. *Chernega K. S. Decision support System for Automated Medical Diagnostics* / Chernega K.S., Tymchenko V.I., Komleva N.O. // *Electrotechnic and Computer Systems*. – Kiev: Science and Technology, 2016. – No. 23 (99). – P. 65–72.
9. *Ruvinska V. Rules of Expert System for Safety Monitoring: Checking on Completeness and Consistency* / V. Ruvinska, A. Troynina, E. Berkovich, A. Bilovzorov // *Праці Одеського політехнічного університету*. – 2015. – Вип. 2 (46). – С. 103–110.
10. *Любченко В. В. О некоторых свойствах моделей предметных областей информационных систем* / В. В. Любченко // Труды 14-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» (27–31 мая 2013 г., Одесса). – Одесса, 2013. – Т. 1. – С. 81–82.
11. *Кунгурцев А. Б. Интерфейс для общения пользователей с информационными системами на естественном языке* / А. Б. Кунгурцев, Я. В. Поточняк // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2014. – № 14 (90). – С. 74–81.
12. *Необходимость выделения ключевых слов для свёртывания текста [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.scienceforum.ru/2014/476/70>.*
13. *LanguageTool [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://languagetool.org/uk/>.*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

14. Бісікало О. В. Виявлення ключових слів на основі методу контент-моніторингу україномовних текстів / О. В. Бісікало, В. А. Висоцька // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2016. – № 1 (36). – С. 74–83.

15. *Ключевые слова в тексте – как правильно употреблять?* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://dimokfm.ru/klyuchevyie-slova/>.

16. *Информационные технологии управления. Методы поиска текстовой информации* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://refdb.ru/look/2575304-p10.html>.

17. *Индексы. Теоретические основы* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sql.ru/articles/mssql/03013101indexes.shtml>.

18. *Алгоритм Бойера – Мура* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.algolib.narod.ru/Search/BoyerMur.html>.

19. Кунгурцев А. Б. Метод автоматизированного построения толкового словаря предметной области / А. Б. Кунгурцев, Я. В. Поточняк, Д. А. Силяев // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – Вып. 2, № 2 (22). – С. 58–63.

20. *Учет межфразовых связей при автоматизированном построении толкового словаря предметной области* / А. Б. Кунгурцев, А. И. Гаврилова, А. С. Леонгард, Я. В. Поточняк // Информатика и математические методы в моделировании. – 2016. – № 2. – С. 173–183.

References

1. Bolshakova, E.I., Klyshinskii, E.S., Lande, D.V., Noskov, A.A., Peskova, O.V., Yagunova, E.V. (2011). *Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика [Automatic processing of natural language texts and computational linguistics]*. Moscow: MIEM (in Russian).

2. Bates, M. (1995). *Models of natural language understanding*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 92, no. 22, pp. 9977–9982.

3. Kunhurtsev, O.B., Barykina, I.V., Zavalin, O.A. (2004). *Formuvannia shabloniv zapytiv do reliatsiinoi bazy danykh z vykorystanniam ob'ektnoho slovnyka [Creating standard queries to the relational database using object dictionary]*. *Naukovi pratsi ONKhAT – Proceedings of ONAFT*, issue 27, pp. 233–236 (in Ukrainian).

4. Akimov, O.M., SHaptcev, V.A. (2009). *Intellektualizatsiia interfeisa bazy danykh [Intellectualization database interface]*. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, vol. 314, no. 5, pp. 137–139 (in Russian).

5. Steven Bird, Ewan Klein, Edward Loper (2009). *Natural Language Processing with Python*. Published by O'Reilly Media.

6. *Metodologii modelirovaniia predmetnoi oblasti [Methodologies domain simulation]*. Retrieved from <http://www.intuit.ru/studies/courses/2195/55/lecture/1628>.

7. Ruvinskaia, V.M., Troinina, A.S., Siliaev, D.A. (2015). *Slovar predmetnoi oblasti dlia razrabotki ekspertnoi sistemy [Domain vocabulary for the development of an expert system]*. Proceedings of the *Trudy Mezhdunarodnoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii "Informatcionnye tekhnologi v metallurgii i mashinostroenii"* – International scientific conference "Information technologies in metallurgy and machinebuilding" (Dnepropetrovsk 24–26.03.2015). Dnepropetrovsk (in Russian).

8. Chernega, K.S., Tymchenko, B.I., Komleva, N.O. (2016). *Decision support System for Automated Medical Diagnostics. Electrotechnic and Computer Systems*. Kiev: Science and Technology, no. 23 (99), pp. 65–72.

9. Ruvinska, V., Troynina, A., Berkovich, E., Bilovzorov, A. (2015). *Rules of Expert System for Safety Monitoring: Checking on Completeness and Consistency*. *Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu – Pratsi ONPU*, issue 2 (46), pp. 103–110.

10. Liubchenko, V.V. (2013). *O nekotorykh svoistvakh modelei predmetnykh oblastei informatcionnykh sistem [About some properties of the subject areas of information systems models]*. Proceedings of the *Trudy 14-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennye informatcionnye i elektronnye tekhnologii"* – 14th International scientific-practical conference "Modern information and electronic technologies" (May 27-31, 2013, Odessa). Odessa, vol. 1, pp. 81–82 (in Russian).

11. Kungurtsev, A.B., Potochniak, I.B. (2014). *Interfeis dlia obshcheniia polzovatelei s informatcionnymi sistemami na estestvennom iazyke [User interface for users communication with*

information systems in a natural language]. *Elektrotekhnicheskie i kompiuternye sistemy – Electrical and computer systems*, no. 14 (90), pp. 74–81 (in Russian).

12. *Neobkhodimost vydeleniia kliuchevykh slov dlia svertyvaniia teksta [Selection of keywords for clotting text]*. Retrieved from <http://www.scienceforum.ru/2014/476/70>.

13. *LanguageTool*. Retrieved from <https://languagetool.org/uk/>.

14. Bisikalo, O.V., Vysotska, V.A. (2016). Vyiavlennia kliuchovykh sliv na osnovi metodu kontent-monitorynhu ukrainomovnykh tekstiv [Identifying keywords on the basis of content monitoring method in Ukrainian texts]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia – Radio Electronics, Computer Science, Control*, no. 1 (36), pp. 74–83 (in Ukrainian).

15. *Kliuchevye slova v tekste kak pravilno upotreblit? [The key words in the text – how to use?]*. Retrieved from <http://dimokfm.ru/klyuchevye-slova/>.

16. *Informatcionnye tekhnologii upravleniia Metody poiska tekstovoi informacii [Information Technology Management. Search methods of textual information]*. Retrieved from <https://refdb.ru/look/2575304-p10.html>.

17. *Indeksy. Teoreticheskie osnovy [Indexes. Theoretical basis]*. Retrieved from <http://www.sql.ru/articles/mssql/03013101indexes.shtml>.

18. *Algoritm Boiera – Mura [Boyer–Moore string search algorithm]*. Retrieved from <http://www.algolib.narod.ru/Search/BoyerMur.html>.

19. Kungurtcev, A.B., Potochniak, Ya.V., Siliaev, D.A. (2015). Metod avtomatizirovannogo postroeniia tolkovogo slovaria predmetnoi oblasti [Method automated construction explanatory vocabulary domain]. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva – Technology audit and production reserves*, vol 2, no. 2 (22), pp. 58–63 (in Russian).

20. Kungurtcev, A.B., Gavrilova, A.I., Leongard, A.S., Potochniak, Ya.V. (2016). Uchet mezhfrazovykh svyazei pri avtomatizirovannom postroenii tolkovogo slovaria predmetnoi oblasti [Accounting of inter-phrase communication for automated construction the explanatory dictionary of domain knowledge]. *Informatika i matematicheskie metody v modelirovanii – Informatics and Mathematical Methods in modeling*, no. 2, pp. 173–183 (in Russian).

Кунгурцев Олексій Борисович – кандидат технічних наук, професор кафедри системного програмного забезпечення, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

Кунгурцев Алексей Борисович – кандидат технических наук, профессор кафедры системного программного обеспечения, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

Kungurtsev Alexei – PhD in Technical Sciences, Professor of Department of System Software, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenka Av., 65044 Odessa, Ukraine).

E-mail: abkun@te.net.ua

Orcid: 0000-0002-3207-7315

Ковальчук Сергій Вікторович – аспірант кафедри системного програмного забезпечення, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

Ковальчук Сергей Викторович – аспірант кафедры системного программного обеспечения, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

Kovalchuk Serhiy – PhD student of Department of System Software, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenka Av., 65044 Odessa, Ukraine).

E-mail: serhiy_kovalchuk@mail.ua

Поточняк Яна Володимирівна – аспірант кафедри системного програмного забезпечення, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

Поточняк Яна Владимировна – аспірант кафедры системного программного обеспечения, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

Potochniak Iana – PhD student of Department of System Software, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenka Av., 65044 Odessa, Ukraine).

E-mail: yana_onpu@mail.ru

Широкоступ Максим Віталійович – студент, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

Широкоступ Максим Витальевич – студент, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

Shirokostup Maxim – student, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenka Av., 65044 Odessa, Ukraine).

E-mail: unikursal@gmail.com

*Євген Недашківський***МЕХАНІЗМИ ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКТАЛЬНОСТІ У ТЕРМІНАХ
ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ***Евгений Недашковский***МЕХАНИЗМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОСТИ В ТЕРМИНАХ
ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ***Yevhen Nedashkivskyi***THE MECHANISMS FOR DETERMINING FRACTALITY IN TERMS
OF LINGUISTIC MODELING**

Констатовано, що фрактальні часові ряди – цілий клас фрактальних кривих, широко використовуваних під час опису й моделювання найрізноманітніших явищ. Досліджено проблему фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання в системній єдності з процесом моделювання довготривалої пам'яті, яка завершується отриманням прогнозу. Вказано, що фінансові часові ряди з фрактальною структурою відрізняються нелінійною динамікою, хаотичністю, нестационарністю, невизначеністю та значним рівнем зашумленості. Визначено, що побудова визначається даними лінгвістичного часового ряду генетичної пам'яті клітинного автомата. На основі проведеного дослідження зроблено висновок, що прогнозуванню повинен передувати етап аналізу для фрактального аналізу часових рядів і отримання додаткової прогнозової інформації у межах лінгвістичного моделювання.

Ключові слова: фрактальність, лінгвістичне моделювання, часовий ряд, нестабільний стан, прогноз, динамічний процес.

Рис.: 2. Бібл.: 17.

Констатировано, что фрактальные временные ряды – целый класс фрактальных кривых, широко используемых при описании и моделировании разнообразных явлений. Исследована проблема фрактальности в терминах лингвистического моделирования в системном единстве с процессом моделирования долговременной памяти и завершается получением прогноза. Указано, что финансовые временные ряды с фрактальной структурой отличаются нелинейной динамикой, хаотичностью, нестационарностью, неопределенностью и значительным уровнем зашумленности. Определено, что построение определяется данным лингвистического временного ряда генетической памяти клеточного автомата. На основе проведенного исследования сделан вывод, что прогнозированию должен предшествовать этап анализа для фрактального анализа временных рядов и получения дополнительной прогнозной информации в рамках лингвистического моделирования.

Ключевые слова: фрактальность, лингвистическое моделирование, временной ряд, нестабильное состояние, прогноз, динамический процесс.

Рис.: 2. Библ.: 17.

It is stated that fractal time series is a whole class of fractal curves widely used in describing and modeling a variety of events. The problem of fractality in terms of linguistic modeling is studied in the system unity with the process of modeling long-term memory which ends with obtaining the forecast. It was noted that financial time series with fractal structure differ by nonlinear dynamics, chaotic condition, nonstationarity, uncertainty and a significant level of noisiness. It was found out that building is determined by the data of a linguistic time series of a cell machine's genetic memory. Based on the conducted study it was concluded that prediction should be preceded by the analysis stage for fractal analysis of time series and obtaining additional forecasting information within the linguistic modeling.

Key words: fractal, linguistic modeling, time series, unstable condition, prognosis, dynamic process.

Fig.: 2. Bibl.: 17.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У часових характеристиках процесів і явищ, що протікають у середовищах із самоподобною структурою, виявляють фрактальну поведінку. Фрактальні часові ряди – цілий клас фрактальних кривих, широко використовуваних під час опису й моделювання найрізноманітніших явищ. З їх допомогою описуються такі явища, які, здавалося б, не мають нічого спільного: рух броунівської частинки, поведінка курсу обміну валют на фінансових ринках, зміна рівня води в озерах і річках тощо.

Застосування фракталів у моделюванні часових рядів, зокрема, така характеристика тимчасового ряду, як фрактальна розмірність, дозволяє визначити момент, в який система стає нестабільною і готовою перейти у новий стан.

З початку ХХІ століття актуальним питанням у дослідженнях багатьох учених [1; 2] постає моделювання природної мови та мовлення, це пов'язано, насамперед, зі стрімким розвитком прикладної лінгвістики, як наслідком постійного зростання потреб у за-

стосуванні механізмів природної мови у людино-машинних та інформаційно-комп'ютерних системах.

На основі цього спостерігається зростання кількості лінгвістичних моделей щодо вирішення головних практичних питань у різноманітних сферах застосування, що є актуальним питанням досліджень сучасних науковців.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано вирішення цієї проблеми і на які спирається автор. Стосовно лінгвістичного моделювання як спеціалізованого виду математичного моделювання варто відзначити праці: К. С. Фу [3], який розкрив основні принципи застосування структурних методів при розпізнаванні образів (1977); теорію формальних граматик досліджував Н. Хомський та Дж. Міллер (1965) [4]

Серед сучасних науковців можна відзначити роботи: А. В. Потапова [5], який застосував принцип мінімальної довжини опису в межах розпізнавання образів; Ю. І. Сенкевича [6], який запропонував та обґрунтував алгоритми, орієнтовані на ідентифікацію станів і створення класів станів природних і штучних систем за результатами лінгвістичного аналізу. Зазначив, що визначення знаходження системи в конкретному стійкому стані пов'язане з пошуком найбільш близького за складом алфавіту, що генерується системою в поточному стані, з базою раніше виділених алфавітів; О. Ю. Соколова [7], який розкриває проблему управління складними слабоформалізованими об'єктами і процесами, в яких об'єкт управління і система управління представлені за допомогою знання-орієнтованих моделей. Автор детально обґрунтовує лінгвістичну модель апроксимації складних слабоформалізованих динамічних систем як таких, що найбільш повно відображають динамічні характеристики і враховують різні типи безпосередності в описі подібних систем. М. В. Старченко [8] на основі мінімальних покриттів, запропонував новий алгоритм обчислення фрактальної розмірності, розробив метод локального фрактального аналізу, який дозволяє цілком задовільно вирішувати задачу ідентифікації локального стану досліджуваного часового ряду, запропонував нові підходи до прогнозування хаотичних часових рядів.

Проте, незважаючи на масштабність наукових розробок, на сьогодні немає універсального механізму для моделювання динамічних процесів з урахуванням фрактальності отримуваних часових рядів. Початок узагальненого підходу був викладений у роботах І. В. Баклана [9–11].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні теорія фракталів у процесі аналізу ринкової динаміки дозволяє врахувати таку властивість ринку, як самоорганізація, тому застосування згаданої теорії для вирішення питання визначення фрактальності часового ряду є актуальним.

Масштабність фінансових часових рядів з фрактальними властивостями вимагає застосування єдиного універсального механізму, який приводить до аналізу фрактальності динамічних процесів, що виникають в економічних системах. Пошук такого механізму є одним з найактуальніших завдань науки сьогодення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Навести механізми визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання. Розкрити процес побудови лінгвістичної моделі на основі часового ряду динамічного процесу. Розробити алгоритм визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. У сучасній науковій літературі часовим рядом називають послідовність вимірювань y_t , $t = [1...N]$, яка, як правило, впорядкована за часом [12].

Фінансовий часовий ряд – це послідовність, що описує поведінку певного ринкового процесу [13]. У роботах [14; 15] було проведено аналіз деяких фінансових рядів і по-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

казано, що багато які з них мають кінцеву ємність. Таким чином, ці ряди можуть бути описані звичайним диференціальним рівнянням кінцевого порядку.

Застосування фракталів у моделюванні часових рядів, зокрема, така характеристика тимчасового ряду, як фрактальна розмірність, дозволяє визначити момент, в який система стає нестабільною і готовою перейти у новий стан. Фрактальна розмірність у класичному розумінні – це число, яке кількісно описує те, як об'єкт, процес заповнює простір. Існує багато способів розрахунку фрактальної розмірності. Всі вони мають у своїй основі підрахунок об'єму або площі фрактального утворення в тому самому просторі, де виникає це утворення [10].

Фрактальна розмірність є показником складності процесу, за величиною якої можна передбачати поведінку системи і діагностувати нестабільні стани. Фрактальний аналіз часових рядів враховує поведінку системи не тільки на певний момент, але і його передісторію. Механізм побудови моделі динамічних процесів, які можуть мати фрактальні властивості застосування лінгвістичного моделювання, описано у [10]. Сам процес побудови лінгвістичної моделі на основі часового ряду динамічного процесу відбувається за таким алгоритмом (рис. 1) [16].



Рис. 1. Процес побудови лінгвістичної моделі на основі часового ряду динамічного процесу

Необхідність у моделюванні виникає там, де об'єкт науки недоступний для безпосереднього спостереження. Відповідно до мети дослідження, відображаючи істотні властивості оригіналу і відволікаючись від несуттєвого, модель виступає як специфічна форма реалізації абстракції. Водночас, від характеру моделювання повною мірою залежить весь процес перенесення знань з моделі на оригінал.

Головним завданням моделювання є розкриття основної суті моделі, її структурної залежності та формалізованої упорядкованості. Алгоритмом реалізації цього завдання постає висунення гіпотези про можливий зміст об'єкта на основі вхідних та вихідних залежностей.

Коли в результаті визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання часового ряду отримано лінгвістичні ланцюжки, важливим моментом є оцінювання фрактальності отриманого результату.

У лінгвістичному моделюванні використання математичних методів є дуже важливим. Під моделлю розуміється не лише математична система, але й деяка типова конструкція, яка є зразком для утворення. Фундаментальна роль лінгвістичних моделей полягає в тому, що вони допомагають виявляти закономірності, встановлювати взаємозв'язки і взаємозалежності між фактами [17].

Таким чином, з математичного погляду за наявності часового ряду, що описує динамічний процес:

$$\{y_t\}_{t=1, \overline{N}} \quad (1)$$

фрактальна розмірність буде прагнути до 2, у випадку, коли значення часового ряду незалежне, фрактальна розмірність < 2 .

Лінгвістичний ланцюжок

$$M = \{m_1, \dots, m_n\}, \quad (2)$$

$$\mu(m_n) = f(n), \quad (3)$$

де f – деяка функція від індексу.

Тоді фрактальність лінгвістичного ряду.

$$D = 2 - H, \quad (4)$$

$$H = \frac{\lg\left(\frac{R}{S}\right)}{\lg\left(\frac{n}{2}\right)}, \quad (5)$$

де R – максимальний розмах ряду, що досліджується
 $R = \max\{\mu(m_n) | m_n \in A\} - \min\{\mu(m_n) | m_n \in A\}$;

S – середньоквадратичне лінгвістичне відхилення лінгвістичного ряду,

n – кількість досліджень.

Алгоритм визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання реалізується в системній єдності з процесом моделювання довготривалої пам'яті і завершується отриманням прогнозу, включаючи валідацію (оцінювання похибки результату). Механізм його реалізації складається з таких шести етапів рис. 2.



Рис. 2. Механізм реалізації алгоритму визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Перший етап застосовується на предмет виявлення наявності або відсутності важких хвостів, трендів, циклічних або сезонних компонент й ін.

Другий етап трактується метою встановлення в ньому довготривалої пам'яті, включаючи оцінку її глибини, а також виявлення в поведінці часових рядів таких характеристик і тенденцій, як трендостійкість або, навпаки, хаотичність, персистентність або антиперсистентність та ін. Обчислювальна частина фрактального аналізу базується на алгоритмі R/S-аналізу. Оцінки, одержувані на виході цього етапу, мають числову природу: найбільш адекватним є їх уявлення в термінах і поняттях нечітких множин.

Наступний етап необхідний для забезпечення можливості застосувати квазігенетичний алгоритм, що працює з комбінаторними конфігураціями.

Побудова визначається даними лінгвістичного часового ряду генетичної пам'яті клітинного автомата.

П'ятий етап застосовується для розглянутих часових рядів і лінгвістичних часових рядів за допомогою реалізації «м'яких обчислень» на базі побудованої пам'яті, тобто отримання прогнозу у вигляді нечіткої лінгвістичної безлічі та перетворення нечіткої лінгвістичної безлічі в числову нечітку множину, яку за необхідності за допомогою процедури дефазифікації можна перевести в чіткий числовий прогноз.

Останній етап отримання оцінок похибки для отриманого прогнозу для даних часових рядів і лінгвістичних часових рядів.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямку. Сучасний ринок характеризується самоорганізацією та носить нелінійний характер, що спонукає до пошуку альтернативних методів моделювання із застосуванням нестандартних математичних апаратів. Моделювання встановлює певне ставлення між моделлю і її оригіналом або приписує властивості моделі модельованого об'єкта у процесі спеціального теоретичного аналізу або експерименту. Фінансові часові ряди з фрактальною структурою відрізняються нелінійною динамікою, хаотичністю, нестаціонарністю, невизначеністю та значним рівнем зашумленості. У контексті сформованих до цього часу методів економіко-математичного прогнозування часових рядів можна стверджувати, що прогнозуванню повинен передувати етап аналізу, з цього актуальним є твердження, що чим краще початковий аналіз та отримані характеристики, тим краще результати прогнозування стосовно фрактального аналізу часових рядів для отримання додаткової прогнозної інформації у межах лінгвістичного моделювання.

Перспективи подальших розвідок у цьому напрямку дослідження базуються на побудові лінгвістичних моделей часових рядів з детальним відокремленням процедури прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями.

Список використаних джерел

1. *Лосев А. Ф.* Введение в общую теорию языковых моделей / А. Ф. Лосев ; под ред. И. А. Василенко. – 3-е изд. – М. : Эдиториал УРСС, 2010. – 296 с.
2. *Корпусна лінгвістика* : монографія / В. А. Широков, О. В. Бугаков, Т. О. Грязнухіна, О. М. Костишин, М. Ю. Кригін ; НАН України, Укр. мов.-інформ. фонд. – К. : Довіра, 2005. – 472 с.
3. *Фу К. С.* Структурные методы в распознавании образов / К. С. Фу ; пер. с англ. – М. : Мир, 1977. – 320 с.
4. *Хомский Н.* Введение в формальный анализ естественных языков : пер с англ. / Н. Хомский, Дж. Миллер. – М. : Едиториал, 2003. – 64 с.
5. *Потапов А. С.* Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. – СПб. : Политехника, 2007. – 548 с.
6. *Сенкевич Ю. И.* Алгоритмы лингвистического анализа динамических систем / Ю. И. Сенкевич // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Электронно-вычислительная техника. – 2007. – Вып. 4. – С. 88–96.

7. Соколов А. Ю. Синтез оптимального управления лингвистическими динамическими системами / А. Ю. Соколов // *Праці п'ятої української конференції з автоматичного управління (Автоматика 98)*. – К. : КПІ, 1998. – Ч. 1. – С. 356–363.
8. Старченко Н. В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов : дис. ... канд. физ.-мат. Наук : спец. 01.01.03 / Старченко Николай Викторович. – М., 2005. – 122 с.
9. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти / І. В. Баклан // *Системні технології*. – 2011. – № 3. – С. 10–19.
10. Баклан І. В. Фрактальні властивості при лінгвістичному моделюванні динамічних процесів / І. В. Баклан // *Вісник Херсонського національного техн. ун-ту*. – 2015. – Вип. 3 (54). – С. 210–213.
11. Баклан І. В. Інтервальний підхід до побудови лінгвістичної моделі / І. В. Баклан // *Системні технології*. – 2013. – Вип. 3 (86). – С. 3–8.
12. Сизов А. А. Модели, способы и программные средства поддержки принятия решений на основе прогнозирования временных рядов с переменной структурой : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.17 / Сизов Александр Александрович. – М., 2014. – 141 с.
13. Бредихин А. А. Временные ряды с переменной дисперсией и финансовые рынки России / А. А. Бредихин, А. Ю. Лоскутов // *Анализ риска*. – 1998. – Т. 1, № 1. – С. 28–45.
14. Малинецкий Г. Г. Нелинейная динамика и проблемы прогноза / Г. Г. Малинецкий, С. П. Курдюмов // *Вестник РАН*. – 2001. – Т. 71, № 3. – С. 44–46.
15. Vera, A.K., Higgins, M.L. ARCH models: properties, estimation and testing. – *J. Econ. Surveys*, 1993. – Vol. 7.
16. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання часових рядів / І. В. Баклан, Є. А. Недашківський // *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої дню космонавтики (12 квітня 2016 р., Херсон) / під ред. В. В. Марасанова та ін.* – Херсон : ХНТУ, 2016. – С. 11–14.
17. Коптілов В. В. Число і слово / В. В. Коптілов, Ф. О. Нікітіна. – К. : Наукова думка, 1966. – 108 с.

References

1. Losev, A.F., Vasilenko, I.A. (ed.) (2010). *Vvedenie v obshchuiu teoriiu yazykovykh modelei* [Introduction to a General Theory of Linguistic Models]. Moscow: Editorial URSS (in Russian).
2. Shyrovkov, V.A., Buhakov, O.V., Hriaznukhina, T.O., Kostyshyn, O.M., Kryhin, M.Yu. (2005). *Korpusna linhvistyka* [Corpus Linguistics]. Kyiv: Dovira (in Ukrainian).
3. Fu, K.S. (1977). *Strukturnye metody v raspoznavanii obrazov* [Structural Methods in Recognizing Images] (Trans.). Moscow: Mir (in Russian).
4. Khomskii, N., Miller, Dzh. (2003). *Vvedenie v formalnyi analiz estestvennykh yazykov* [Introduction to Formal Analysis of Natural Languages]. Moscow: Editorial (in Russian).
5. Potapov, A.S. (2007). *Raspoznavanie obrazov i mashinnoe vospriiatie: obshchii pokhod na osnove printsipa minimalnoi dliny opisaniia* [Image Recognition and Machine Perception: General Approach on the Basis of Minimum Description Length]. Saint-Petersburg: Politehnika (in Russian).
6. Senkevich, Yu.I. (2007). *Algoritmy lingvisticheskogo analiza dinamicheskikh sistem* [Algorithms for the Linguistic Analysis of Dynamical Systems]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Elektronno-vychislitelnaia tekhnika – Problems of Radioelectronics. Series: Electronic Computing Machinery*, vol. 4, pp. 88–96 (in Russian).
7. Sokolov, A.Yu. (1998). *Sintez optimalnogo upravleniia lingvisticheskimi dinamicheskimi sistemami* [Synthesis of Optimal Control of Linguistic Dynamic Systems]. *Pratsi piatoi ukrainskoi konferentsii z avtomatichnoho upravlinnia (Avtomatyka 98) – Works of the Fifth Ukrainian Conference on Automatic Control*, part 1, pp. 356–363 (in Russian).
8. Starchenko, N.V. (2005). *Indeks fraktalnosti i lokalnyi analiz khaoticheskikh vremennykh riadov* [Fractality Index and Local Analysis of Chaotic Time Series]. *Candidate's thesis*. Moscow (in Russian).
9. Baklan, I.V. (2011). *Linhvistychnne modeliuвання: osnovy, metody, deiaki prykladni aspekty* [Linguistic Modeling: Fundamentals, Techniques, Some Practical Aspects]. *Systemni tekhnolohii – System Technology*, no. 3, pp. 10–19 (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. Baklan, I.V. (2015). Fraktalni vlastyivosti pry linhvistychnomu modeliuvanni dynamichnykh protsesiv [Fractal Properties in Linguistic Modeling of Dynamic Processes]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhn. un-tu – Bulletin of Kherson National Technical University*, vol. 3 (54), pp. 210–213 (in Ukrainian).
11. Baklan, I.V. (2013). Intervalnyi pidkhid do pobudovy linhvistychnoi modeli [Interval Approach to Building a Linguistic Model]. *Systemni tekhnolohii – System Technology*, vol. 3 (86), pp. 3–8 (in Ukrainian).
12. Sizov, A. A. (2014). Modeli, sposoby i programmnye sredstva podderzhki priniatiia reshenii na osnove prognozirovaniia vremennykh riadov s peremennoi strukturoi [Models, Methods and Software for Decision-Making Support Based on Prediction of Time Series with Variable Structure]. *Candidate's thesis*. Moscow (in Russian).
13. Bredihin, A.A., Loskutov, A.Yu. (1998). Vremennye riady s peremennoi dispersiei i finansovye rynki Rossii [Time Series with Variable Variance and Financial Markets of Russia]. *Analiz riska – Risk Analysis*, issue 1, no. 1, pp. 28–45 (in Russian).
14. Malinetskii, G.G., Kurdiunov, S.P. (2001). Nelineinaia dinamika i problemy prognoza [Nonlinear Dynamics and Forecast Problems]. *Vestnik RAN – Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, issue 71, no. 3, pp. 44–46 (in Russian).
15. Bera, A.K., Higgins, M.L. (1993). *ARCH models: properties, estimation and testing*. J. Econ. Surveys, vol. 7.
16. Baklan, I.V., Nedashkivskiy, Ye.A. (2016). Linhvistychno modeliuvannia chasovykh riadiv [Linguistic Modeling of Time Series]. Proceedings from *Materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh z avtomatychnoho upravlinnia prysviachenoi dnu kosmonavtyky – Materials IV Ukrainian scientific conference of students and young scientists with automatic control of space dedicated to the Day* (Kherson, April 12, 2016) (Marasanov V.V. (ed.) et al.). Kherson: KhNTU, pp. 11–14 (in Ukrainian).
17. Koptilov, V.V., Nikitina, F.O. (1966). *Chyslo i slovo [The Number and the Word]*. Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).

Недашківський Євген Анатолійович – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Недашковский Евгений Анатольевич – аспірант, Национальный технический университет Украины «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Nedashkivskiy Yevhen – PhD student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: e.niedaszkowski@yandex.ua

UDC 004.415.2

*Volodymyr Kazymyr, Andrii Mokrohuz***SELECTING A BASE APPLICATION LAYER PROTOCOL
TO TRANSFER DATA IN THE CLIENT-SERVER ARCHITECTURE***Володимир Казимир, Андрій Мокрогуз***ВИБІР БАЗОВОГО ПРОТОКОЛУ ПРИКЛАДНОГО РІВНЯ
ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В АРХІТЕКТУРІ КЛІЄНТ-СЕРВЕР***Владимир Казимир, Андрей Мокрогуз***ВЫБОР БАЗОВОГО ПРОТОКОЛА ПРИКЛАДНОГО УРОВНЯ
ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В АРХИТЕКТУРЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕР**

This article presents a system of criteria to determine the optimal application-level protocol for communication between a client and a server when mobile devices are involved in the communication. The criteria focused on the abilities of protocols to support different types of content, structure features, the ability to expand, header size and complexity of usage by software developers. According to the system of the criteria, the most popular application-level protocol HTTP (S) and other alternative protocols like SPDY and COAP have been analyzed and researched.

Key words: HTTP, CoAP, SPDY, mobile device, protocol.

Fig.: 3. Tabl.: 5. Bibl.: 8.

Представлено систему критеріїв для визначення оптимального протоколу прикладного рівня при організації зв'язку між клієнтом і сервером у процесі використання мобільних пристроїв. Запропоновані критерії зосереджені на таких можливостях протоколів, як підтримка різних типів контенту, особливостях структур, здатності до розширення, розміру заголовка і складності використання розробниками програмного забезпечення. За обраною системою критеріїв були проаналізовані та досліджені найпопулярніший протокол прикладного рівня HTTP(S) та інші альтернативні протоколи, такі як COAP і SPDY.

Ключові слова: HTTP, COAP, SPDY, мобільний пристрій, протокол.

Рис.: 3. Табл.: 5. Бібл.: 8.

Представлена система критериев для определения оптимального протокола прикладного уровня при организации связи между клиентом и сервером в процессе использования мобильных устройств. Предложенные критерии сосредоточены на таких возможностях протоколов, как поддержка различных типов контента, особенностях структур, способности к расширению, размеру заголовка и сложности использования разработчиками программного обеспечения. По выбранной системе критериев были проанализированы и исследованы популярный протокол прикладного уровня HTTP (S) и другие альтернативные протоколы, такие как COAP и SPDY.

Ключевые слова: HTTP, COAP, SPDY, мобильное устройство, протокол.

Рис.: 3. Табл.: 5. Библи.: 8.

Urgency of the research. Developers have been developing their software during many years by using different programming languages, different platforms, approaches and technologies. Selection of an application level protocol is one of the issues, which developers had to overcome on their way to successful applications. Design and creation of application level protocol is not an easy task. Many things should be considered during these processes, for instance, protocols should be unambiguous and precise, allow future extensions, do not replicate services provided by lower layer protocols etc.

Application protocols are different. Application-level protocols are designed to target specific application tasks. They determine both the procedure of interaction between a specific type of application processes and the presentation of information in this interaction.

The functions associated with the application layer protocols enable our human network to interface with the underlying data network. When we open a web browser or an instant message window, an application is started, and the program is put into the device's memory where it is executed. Each executing program loaded on a device is referred to as a process. Applications and services are two forms of software programs or processes that provide access to the network within the application layer.

Total number of application layer protocols is large and continues to increase steadily. Some protocols have existed since the very beginning of the development of the Internet. For example, TELNET and FTP are quite old protocols. Others have appeared recently such as X-Window, SNMP or SPDY.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Despite the fact that protocols are designed to be as optimal as possible, developers can misuse each application level protocol. For instance, developers can generate technical data, which is not required, when transferring text data types or select the technology, which transfers unnecessary data. [1]

In the paper, we are considering the most popular application level protocols and identifying which are the best protocols to work with, when developing a client server application.

Target setting. Large variety of application layer protocols makes it hard to analyze them and make some conclusions. Therefore, we need to identify the group of application layer protocols, which will help us to identify the protocols for our research. We decided to create the criteria list to distinguish the protocols. The next criteria were defined to identify the most appropriate application layer protocols. For simplicity, we call this criteria “Identification criteria”.

- Protocol must support the client-server communication.
- Protocol must be available for usage in mobile networks.
- Protocol must have development tools, which help to use it.
- Protocol must be popular and used in the Internet.

In addition, we defined the criteria to compare selected protocols. For simplicity, we call this criteria “Comparison criteria”. Every application layer protocol, which satisfies identification criteria, will be compared using comparison criteria.


- Amount of a technical data transferred.
- Protected data transfer reliability and performance.
- Popularity of the protocol in terms of software development tools.
- Overall performance.
- Client server communication drawbacks and characteristics.

Actual scientific researches and issues analysis. End users use application layer protocols in form of software applications. Sandvine report [2] shows overall usage of applications and application layer protocols by mobile devices in mobile networks. For instance, Table 1 shows percentage of usage of the most popular application layer protocols for mobile access.

Table 1

Mobile access traffic share for Europe

Rank	Upstream		Downstream		Aggregate	
	Application	Share	Application	Share	Application	Share
1	Facebook	17.93%	HTTP	17.65%	HTTP	16.92%
2	HTTP	13.45%	YouTube	16.54%	YouTube	15.15%
3	SSL	8.63%	Facebook	12.85%	Facebook	13.72%
4	YouTube	8.25%	SSL	5.68%	SSL	6.17%
5	BitTorrent	5.00%	MPEG	4.23%	MPEG	3.85%
6	Skype	4.60%	Netflix	3.89%	Netflix	3.53%
7	iTunes	3.01%	iTunes	3.48%	iTunes	3.40%
8	Instagram	2.07%	Google Market	2.66%	BitTorrent	3.02%
9	MPEG	2.05%	BitTorrent	2.60%	Google Market	2.43%
10	Snapchat	1.86%	Instagram	1.92%	Skype	1.93%
		64.99%		69.59%		70.13%



As it can be seen, HTTP protocol takes leading position for mobile devices in the Internet for Europe. For Northern America HTTP takes 3rd place with share of 12.59 %, Latin America has aggregated value 13.04 %, Asia Pacific has 19.14 % of HTTP and Africa has 26.15 % [2].

That means that HTTP is the most popular protocol for users of mobile devices. In some world regions, it has lower value, but the general picture shows domination of HTTP over other application layer protocols in the Internet. Thus, we need to consider different application layer protocols, which can replace HTTP in some cases. However, they must be similar to HTTP.

Uninvestigated parts of general matters defining. It is very hard to select appropriate application layer protocols to analyze, without distinguishing required protocols from a large set. Identification criteria are presented in Table 2 for application layer protocol HTTP.

Table 2

Identification criteria for HTTP

Criteria	Value
Protocol must support the client-server communication	Yes
Protocol must be available for usage in mobile networks	Yes
Protocol must have development tools which help to use it	Yes
Protocol must be popular and used in the Internet	Yes

Mobile devices are different and developed for different purposes. It can be powerful smartphone with multicore CPU and couple GB of RAM, or it can be small board with some sensors and small amount RAM up to 100 MB. HTTP has relatively big amount of technical data transferred from a server to a client and back as it was shown in the paper “In HTTPS potential traffic overhead for mobile devices” [1]. For not very powerful devices, additional overhead can be not acceptable.

HTTP is the most popular application layer protocol in the Internet, thus we need to consider only the protocols, which are similar to HTTP and can satisfy the criteria.

One of these protocols is CoAP (constrained application protocol) lightweight alternative of HTTP. The protocol works similar to HTTP, as it shown on Figure 1.

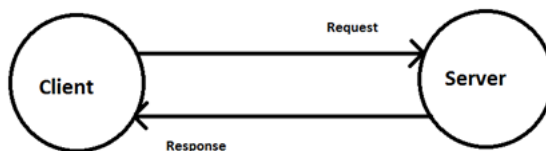


Fig. 1. Client-server communication in CoAP

CoAP supports GET, POST, PUT and DELETE methods [3]. This protocol can be successfully used with IoT (internet of things) devices. These mobile devices usually have not very powerful hardware and cannot have fully functional operational system installed. Identification criteria for CoAP application layer protocol is presented in Table 3.

Table 3

Identification criteria for CoAP

Criteria	Value
Protocol must support the client-server communication	Yes
Protocol must be available for usage in mobile networks	Yes
Protocol must have development tools which help to use it	Yes
Protocol must be popular and used in the Internet	Not very popular

CoAP is relatively new protocol and it becomes popular for IoT. It can replace HTTP in some cases. For instance, CoAP protocol was used for healthcare monitoring sensors to view the status of patients via browser [4]. Therefore, it can be also considered as reliable application protocol as well.

Another protocol, which can be considered as alternative for HTTP is SPDY (pronounced SPeeDY). This protocol claims to be faster than HTTP. On Figure 2 the average page load for website over 3G (mobile) networks has been shown [5]. The authors have shown that SPDY is a little bit faster than HTTP in 3G networks.

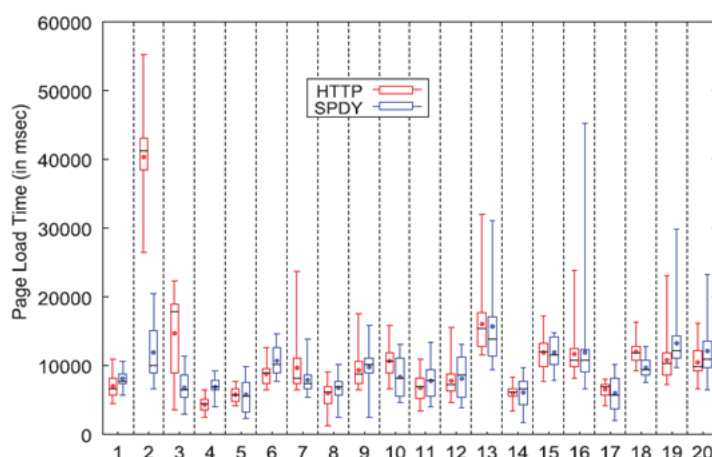


Fig. 2. Page load time for different web sites with HTTP and SPDY over a 3G network [5]

However, the results shown on Figure 2 give improvement from 4 % to 56 % which depends on a website. A previous result, which was achieved by Google, has been shown improvement between 27–60 % [6].

In Table 4, the identification criteria has been shown for SPDY protocol.

Table 4

Identification criteria for SPDY

Criteria	Value
Protocol must support the client-server communication	Yes
Protocol must be available for usage in mobile networks	Yes
Protocol must have development tools which help to use it	Yes
Protocol must be popular and used in the Internet	Not very popular

The research objective. Our objective is comparison of application layer protocols, which are popular and satisfy our identification criteria. The result of this comparison should give us an idea, which protocols are better to use. It is also possible to identify which protocol more suitable for specific application types.

The statement of basic materials. All these protocols have similar principle of work and can be used for communication between a client and a server. We were trying to compare similar to HTTP protocols, because HTTP is the most popular protocol in the internet [2]. In Table 5 we presented comparison criteria for CoAP and SPDY protocols, which, we think, can be used as an alternative to HTTP protocol.

Table 5

Comparison criteria for HTTP, SPDY and CoAP protocols

Criteria	HTTP	SPDY	CoAP
Amount of a technical data transferred	High	High	Low
Protected data transfer reliability and performance	HTTPS (TSL/SSL)	TSL/SSL	DTLS (RSA and AES or ECC and AES)
Popularity of the protocol in terms of software development tools	Very popular, a lot of tools available for software development	Tools are available for software development	Tools are available for software development
Overall performance	Good	Good	Good
Client server communication drawbacks and characteristics	Can be used for communication for different clients and servers. Very popular. High amount of technical data can be transferred	Protocol meant to replace some parts of HTTP, reduces loading time of web pages. Makes almost no difference between data transferred in mobile networks. Not very popular	Protocol Used for IoT applications, low amount of technical data, but has limitations

Http protocol

Amount of technical data transferred between a client and a server can be high. This depends on type of information (text, image, sound or video) which is transferred and also depends on developers who write the software [1; 7].

HTTP has secure alternative, which uses SSL/TSL to protect data transferred. Many programming languages like Java, C #, C++, support HTTP.

Overall performance of applications, which use HTTP(S), depends on particular applications and technologies which developers decided to apply. HTTP protocol was designed to be reliable, expandable and all-purpose protocol. Any type of information can be sent by using HTTP.

SPDY protocol

SPDY targets some parts of HTTP protocol where cannot deliver better performance. Google's SPDY uses some techniques (header compression, pushing and multiplexing) to decrease amount of data transferred from a client to a server and as a result improve speed communication. Different researches have shown ambiguous results. On Figure 2 the page load is shown for different web sites using HTTP and SPDY and its only 4 % of improvement for mobile networks [5]. Another research, which was carried out by C. Roseti et al. have shown different result. They were using latest SPDY version to measure the page load time over satellite network. As it can be seen on Figure 3, amount of data transferred by using SPDY is almost 60 % less than the amount of data transferred by using HTTP [8].

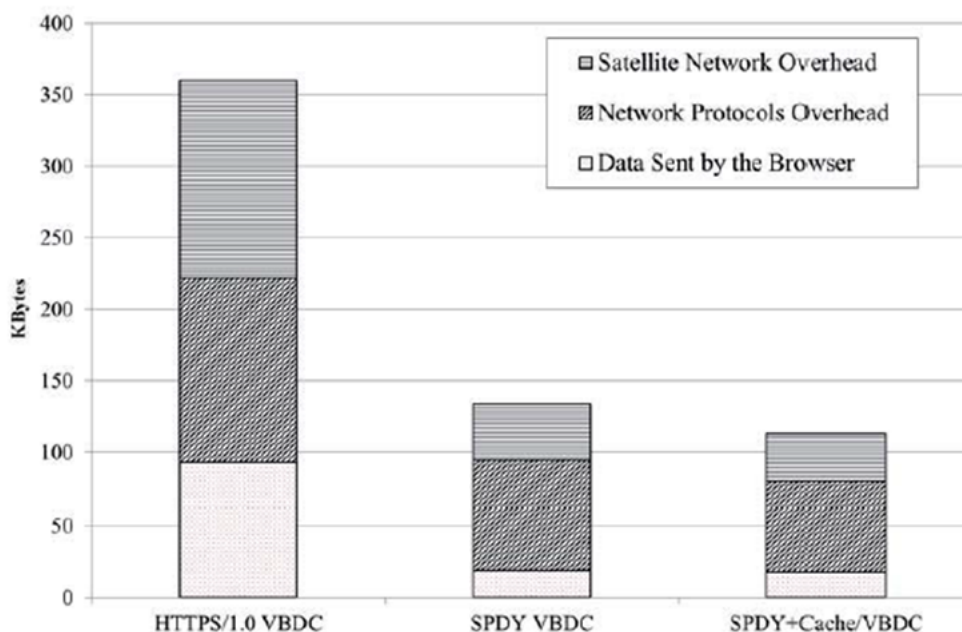


Fig. 3. Amount of data transferred using satellite networks

SPDY is not very popular and there are much more less development tools and examples how to use SPDY.

CoAP protocol

CoAP is a protocol which is used by IoT devices to communicate with servers. Usually, IoT devices are devices with limited battery, memory and processing capabilities and CoAP can decrease amount of data transferred for these devices.

For developers CoAP is something that can be used very easily because of variety of tools and examples for many programming languages (Java, C#, C++, Javascript etc.). Moreover protocol is similar to HTTP from software development point of view, which makes it even more attractive for developers.

Conclusions and propositions. In the paper, we identified the most popular protocol in the Internet. As a result, HTTP is the most popular protocol; therefore, we considered protocols, which are similar to HTTP. Identification criteria were created to identify protocols, which can be used instead of HTTP in some cases. There only two application level protocols passed identification criteria. They are CoAP and SPDY. To compare protocols between each other we created comparison criteria.

After comparison and analysis of previous researches, it is clear that CoAP and SPDY perform better than HTTP giving up to 50% performance increase. However, areas where CoAP can be applied are restricted. In addition, SPDY positioned himself as experimental protocol from Google. SPDY is not popular nowadays and developers prefer using HTTP. Popularity of HTTP, large amount of examples for different programming languages and amount of application, which already have been created, are the most important factors, which influence on selection of an application level protocol for software development.

For the future researches, consideration of how developers using application level protocols can be priority direction. Usage of HTTP by software developers can be improved to increase performance of applications they create.

References

1. Kazymyr, V., Mokrohuz, A. (2016). *In HTTP(S) potential traffic overhead for mobile devices*. International Journal “Information Theories and Applications”, vol. 23, no. 4, pp. 383–393.
2. *Global internet phenomena report* [Online]. Available: <https://www.sandvine.com/downloads/general/global-internet-phenomena/2014/1h-2014-global-internet-phenomena-report.pdf>.
3. Shelby, Z., Hartke, K., Bormann, C., and Frank B. (2014). *The Constrained Application Protocol (CoAP)*, IETF RFC7252, June 2014.
4. Ugrenovic, D. and Gardasevic, G. (2015). *CoAP protocol for Web-based monitoring in IoT healthcare applications*. *Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, 23rd, Belgrade, pp. 79–82.
5. Erman, J., Gopalakrishnan, V., Jana, R. and Ramakrishnan, K.K. *Towards a SPDY'ier Mobile Web?* In *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 23, no. 6, pp. 2010–2023, Dec. 2015.
6. Google, “*SPDY: An experimental protocol for a faster Web*” [Online]. Available: <http://www.chromium.org/spdy/spdy-whitepaper>.
7. Pengcheng Jiang; Fang Liu; Huan Wang; Chenyu Li. *Characterizing HTTP Traffic of Mobile Internet Services in Provincial Network*. In *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*, 2014 Sixth International Conference on, vol. 1, pp.78–81, 26-27 Aug. 2014.
8. Roseti, C., Salam, A. A., Luglio, M. and Zampognaro, F. (2015). *SPDY over satellite: Performance optimization through an end-to-end technology*. *Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 2015 38th International Conference on, Prague, pp. 1–6.

Kazymyr Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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).

E-mail: vvkazymyr@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

Scopus Author ID: 56644727300

Mokrohuz Andrii – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

Мокрогуз Андрій Олександрович – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Мокрогуз Андрей Александрович – аспірант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

E-mail: myworkingadr@gmail.com

UDC 004.42:004.77:338.3

*Palaščáková Dominika***METHODS OF ON-LINE AND OFF-LINE PROGRAMMING IN THE PRODUCTION PROCESS***Домініка Плашчакова***МЕТОДИ ОН-ЛАЙН І ОФЛАЙН ПРОГРАМУВАННЯ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА***Доминика Плашчакова***МЕТОДЫ ОНЛАЙН И ОФЛАЙН ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА**

In conditions of strict monitoring of costs it is necessary to verify the possibilities of planning systems and find innovative and successful solutions. Requirements for changing technological or organizational issues already brings with it certain risks. Simulation programs help us to limit these risks by enabling working environment model and simulate the consequences of different decisions. The result is a greater degree of confidence that the proposed solution is to organize it properly even before proceeding to its implementation. Among the world-class companies is no that would not benefit from predictive technology as a standard management tool.

Keywords: on-line, off-line, CAD, PTP.

Fig.: 5. Bibl.: 6.

В умовах суворого моніторингу витрат необхідно перевірити можливості систем планування і знайти інноваційні та успішні рішення. Вимоги щодо змін технологічних або організаційних питань спонукають на певні ризики. Програми-симулятори допомагають обмежити ці ризики, дозволяючи робочому середовищу моделювати і симулювати наслідки різних рішень. Результатом є більш високий рівень впевненості в запропонованому рішенні організувати його належним чином, навіть перш ніж приступити до його реалізації.

Ключові слова: он-лайн, офлайн, САД, РТР.

Рис.: 5. Бібл.: 6.

В условиях строгого мониторинга расходов необходимо проверить возможности систем планирования и найти инновационные и успешные решения. Требования об изменениях технологических или организационных вопросов побуждают определенных рисков. Программы-симуляторы помогают ограничить эти риски, позволяя рабочей среде моделировать и имитировать последствия различных решений. Результатом является более высокий уровень уверенности в предложенном решении организовать его должным образом, даже прежде чем приступить к его реализации.

Ключевые слова: онлайн, офлайн, САД, РТР.

Рис.: 5. Библ.: 6.

Introduction. Robot it operates according to the program prepared in advance. The sequence is defined as commands that lead to the execution requested. Robot programming is defined as the compilation and production program on the basis of constructed algorithm.

According approach to program design divided programming:

- On-line programming (programming with the robot through the pendant).
- Off-line programming (programming outside of the robot on the PC).

1. On-line programming. Online programming is performed directly by the operator via the robot-guided handling required points. The robot is controlled manually from the panel programming, guidance to individual points that are registered in the control system memory.

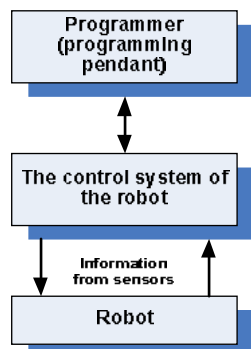


Fig. 1. Process on-line robot programming

As a second step follows the logic of programming management Gripper and peripherals. This section also enter the speed of movement of each robot path. The advantage of this programming will work in the real environment while we perform programming and functional test. Procedures of on-line illustrated in pic. 1.

Nowadays, modern programming units are already built PC based. The controls are easy through function keys. The display has the ability to view multiple windows for visual display robot functions or technology program and its parameters. Built-in color display allows the operator directly through programmed I / O their activities. Some programming unit (Comau Robotics) are capable of transmitting data to the control system of wireless technologies, pic. 2.



Fig. 2. Programmer OTC Daihen robots and Comau Robotics

The disadvantage of online programming is quite a long time, the physical demands of the programmer when programming complex handling movements and long cycles. Another disadvantage is that the whole body is losing on the production, only in rare cases during the programming of the robot some devices may work or limited work.

Programming method of Play-back. In the case of simple inexpensive device on the precision of the movement, for example, robots for spraying, it is first of all the whole technological movement of arm robot driven by an operator manually records this movement control unit that is entered in the data memory of the position and orientation of 20ms every spray gun. When you run the automatic operation of the robot plays the recorded activity. Repeat the motion path is not entirely accurate, because the robot arm is in the repetition of the movement in the opposite direction than in the lead after the desired track wear. Tolerances defined in clearance and the flexibility of the structure have the opposite orientation. Another disadvantage of this method is the presence of the operator, which can make big problems, however, in small spaces creating a program is fast.

Teach-in programming. When programming a progressive learning robot arm using the buttons on the operator being gradually is the counterpart to the individual positions (in which it is to be transferred in any action, such as grasping, or tool), and the coordinates of these exactly adjusted positions, and orientation of the tool are stored in memory, pic. 3.



Fig. 3. Teach-in programming

In automatic operation, the robot then uses the data from the memory. The important points and the orientation of the tool in the following sections are for the teach-in automatically entered according to the manual. Other features of the robot are programmed using a PC or directly in the programming of the unit. A description of the features of the selected programming unit-counterpart is in pic. 4.

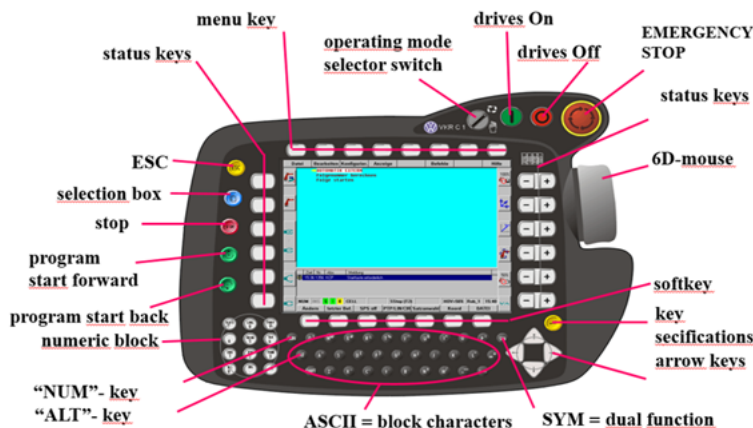


Fig. 4. Programming unit - pendant for robot programming

Programming units enable the monitoring I / O and system information, writing programs in the editor, allow access to production data (average cycle time, the number of production cycles, etc.), setting operating parameters for example welding directly from the counterpart modern units have analysis functions for optimizing their robot.

2. Off-line programming. Off-line programming is carried out in a computer model of a real production cell including its surroundings in 3D presentation. Programming is done in advance, the system allows you to directly import objects from different CAD systems. The disadvantage is that this approach requires additional investment outside the robot, but on the other hand, the results, for example or robot to cover all devices and so on are known before physical implementation. Off-line programming of the robot is based on a computer model of production cells, pic. 5.

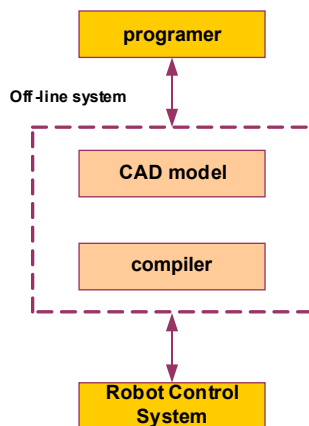


Fig. 5. Procedure for off-line programming of robots

Typically used non-standard programming languages, which requires the browser to create a program for a particular robot. When off-line programming is preferred 3D modeling. Each virtual robot model has three parts: the model manipulator, controller and model program. Manipulator model is a 3D solid model, the controller includes a real robot controller and program specifies the role that the robot will perform. For other devices, such as NC machines, plant, truck etc., it can be formed as a model of the robot. Communication between the elements of the model conforming connections between models. Data exchange between the models of the production system and CAD / CAM supported standard STEP. The library includes models of robots, NC machines, peripherals, which are then imported into the simulation model. The simulation can be performed in real time in the 3D simulation. Evaluation model is implemented based on the simulation results. After reaching the optimal

alternative program it is translated into the language of the robot and imported into the real system.

Off-line programming allows the use of interpolation PTP, LIN and CIRC. Off-line programming allows detailed 3D simulation systems which can detect the collision situation and verify changes in the future to test the feasibility of handling points. This allows users to search not only the optimum deployment of equipment in a production cell, as well as optimum handling their operating cycles. Many off-line programming systems follow a realistic timing of the operation of the robot, encourage the selection of appropriate tools or the parameters of the technological process. An important task to get the real program is to make a "true" model of the physical system and its critical properties and behavior.

Off-line preparation programs is further achieved by:

- minimizing the time of disclosure,
- maximizes the producibility,
- reduce the errors in the program,
- reveal the feasible and dangerous situations.

Graphic presentation of the "real" programming panel gives the possibility of programming online, which is used as a training tool for teaching programming online. Systems off-line programming have an event table, which is an ideal tool for verifying the program structure, logic functions and I / O status. Each method has its advantages and disadvantages. Taking advantage of both these methods of programming techniques, we can achieve optimal solutions. Generally, such programming is referred to as hybrid. Robot program consists mainly of two parts: the location (position), the program logic (communication, calculations). The program logic can be effectively developed off-line because there are available effective debugging and simulation capabilities. The greater part of the movement commands can be generated off-line again using data from CAD interaction with the programmer. Movement commands to locate places on a workpiece robot cells are then programmed online. In this way, they may take advantage of both methods. Use hybrid programming is very convenient way to increase flexibility in production and thereby increases the effect of robotic production.

3. Simulation in virtual reality. Simulation is experimenting with computer models of real production system in order to optimize the production. It can be used when synchronizing flows. The simulation experiment with a model of the production system on the computer. When designing and operating complex logistics and production systems raises a number of problems and risks. A large number of variants and the complexity of evaluation do not give a classical instrument in the designer or responsible at the choice of the optimal solution. This is the so-called local optimization effect, which occurs not only in the operation of logistics and production systems, but also in the project. This problem is particularly difficult when we realize that the optimization we should talk not only on the production system or workshop, but that should be followed in terms of optimization of corporate objectives. Normally it happens that these systems projects based on the following criteria and narrow view. If the project is too expensive to make his adjustments so that it cannot implement. When the uncertainty of future production requirements, under time pressure, the limitations of funding and unavailability of modern projection tools can be difficult to talk about the overall optimization of the system parameters. It often happens after the project is already in the system are deficiencies that do not allow full use of all its possibilities. During operation, it is then necessary to solve the problems of additional adjustments to the system, which is usually associated with a further increase in costs. To solve the above problems is a very appropriate use of computer simulation. Simulation allows you to advance your "play" behavior of the system after the implementation of measures to look into the future and so in advance

"scavenge" any problems. As can be seen, the simulation is in many cases appropriate support tools for designers and for managers. Using simulations obtained senior official assurance that the job will be scheduled in a given time frame actually implemented, with animation during the manufacturing process can help illustrate clarify and better understand the process. It is thus possible to identify shortcomings production plan prior to its implementation. Computer simulation of production is actually "test manufacturing plant" in your computer that helps, for example, to study the effects of different management strategy.

Conclusion. Use simulation programs enable us to verify the system behavior under various conditions and detect the bottlenecks. Bottleneck becomes an element that disrupts the continuity of the production process and reasons for the stoppage or the extension of continuous production time. It may be a machine, a robot, conveyors, bins or human. Establish an adequate model of the production system and the implementation of the required number of simulation runs are obtained statistical indicators characterizing its behavior. Use 3D models simulating real situations is now applied in all industries. By introducing simulation programs in the industry reduces the time, minimize costs and deployment time administrative machinery in operation.

Acknowledgement. This article was created within the grant project VEGA 1/0124/15 Research and development of advanced methods for virtual prototyping manufacturing equipment.

References (in language original)

1. HAJDUK, Mikuláš, BALÁŽ, Vladimír, DANESHJO, Naqib, Simulácia a off-line programovanie priemyselných robotických systémov, AT&P journal 2/2005.
2. CHROMJAKOVÁ, F., Simulácia, Žilina, 2006.
3. Retrieved from www.robotstudio.com.
4. SZAKÁLI P., Optimalizácia robotizovaného pracoviska, AT&P journal Bratislava 2003.
5. Retrieved from www.robots.com.
6. Virtual machining on horizontal machining centre with rotary table / Peter Demeč - 2012. In: International Scientific Herald. Vol. 3, no. 2 (2012), p. 46-57.

References

1. HAJDUK, Mikulas, BALAZ, Vladimír, DANESHJO, Naqib, Simulation and offline programming of industrial robotic systems, AT&P journal 2/2005.
2. CHROMJAKOVÁ, F., Simulation, Zilina, 2006.
3. Retrieved from www.robotstudio.com.
4. SZAKALI P., Optimization robotized workplace, AT&P journal Bratislava 2003.
5. Retrieved from www.robots.com.
6. DEMEC Peter, Virtual machining on horizontal machining centre with rotary table, In: International Scientific Herald. Vol. 3, no. 2 (2012), p. 46–57.

Palaščáková Dominika – Ing. PhD, Technical University of Košice, Faculty of mechanical engineering, Department of Manufacturing Technology (Letna 9,042 00 Košice, Slovak Republic).

Плaшчaкoвa Дoмiнiкa - Ing. PhD, Технiчний унiверситет Кошице, Мaшинoбудiвний фaкулътет (Letna 9,042 00 Košice, Slovak Republic).

Плaшчaкoвa Дoмiнiкa – Ing. PhD, Технiческий унiверситет Кошице, Мaшинoстрoительный фaкулътет (Letna 9,042 00 Košice, Slovak Republic).

E-mail: dominika.palascakova@tuke.sk

Dominika Palašćáková, Miroslav Badida

ROBOTIZED WORKPLACE IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Домініка Плашчакова, Мирослав Бадіда

ВПЛИВ РОБОТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Доминика Плашчакова, Мирослав Бадіда

ВЛИЯНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Advanced systems allow the user to program the handling operations without detailed description of the individual motion instructions. The development also tend to develop libraries for frequently used programs, which can be re-used when describing specific tasks. Developed software modules are integrated into the system components.

Key words: *generated image, computer support.*

Fig.: 2. Bibl.: 6.

Розвинуті системи дозволяють користувачам програмувати вантажні операції без детального опису окремих рухів. А також розвиток вплине на оновлення бібліотек для часто використовуваних програм, які можуть бути повторно використані при описі конкретних завдань. Розроблені програмні модулі, інтегровані в системні компоненти.

Ключові слова: *генеровані зображення, комп'ютерна підтримка.*

Рис.: 2. Бібл.: 6.

Развитые системы позволяют пользователям программировать грузовые операции без детального описания отдельных движений. А также развитие повлияет на обновление библиотек для часто используемых программ, которые могут быть повторно использованы при описании конкретных задач. Разработаны программные модули, интегрированные в системные компоненты.

Ключевые слова: *генерируемые изображения, компьютерная поддержка.*

Рис.: 2. Библ.: 6.

Introduction. Deployment of robots in the production process helped to improve environmental protection. First, to increase the purity of the individual sites and speed up the production of products. Human society in its rapid technological development is progressing and intellectually, came to the point where the protection of the natural environment appears to be a necessity for the further preservation of civilization. People are gradually realizing that increasing demands have resulted in expansion of production, which is concentrated in manufacturing enterprises. As these companies are almost at the very beginning of production, it is necessary to begin with the implementation of greening measures right away. Improving the quality of the production process always leads to a reduction of pollution in the environment. Any undertaking that invests in improving the quality of its production, it also means investing in improving the quality of the environment.

1. Design automation and robotic systems. The study area is currently define the specific directions of applications. Since robotic systems and clusters are in terms of their structural funds and technical track elements and implemented operational activities to the most complex, automated reference approaches their work are considered crucial.

Computer support project activities in this area is developing in the following groups:

Indirect programming of robotic equipment and systems. Real systems of this type go beyond pure programming. Allow to solve quite a wide range of design aspects such as the deployment of technical resources, design of operational procedures, simulation of operations, solving collision situations and under. The main objectives of which are specified in the development of systems for indirect programming, according to:

- automatic control of collision situations,
- automatic determination pathway active units,
- setting up standard containers handling tasks,
- dissemination to receive information from sensors,
- graphical verification of the travel path,

- modelling world interactive graphical techniques,
- interaction of technology and handling activities,
- communication in the native language.

Simulation of work activities and robotic systems and their technical elements.

Software systems in this category allow solving a wide range of project tasks that as the key can be picked up:

- determining the robot configuration and the means of production,
- find the optimum layout of the robotic system,
- more appropriate choice of instruments envisaged purposes,
- off-line handling and simulation of manufacturing processes,
- simulation of spatial and temporal course of production,
- interference checking, collision situations, the functional activity of a system,
- comprehensive design animated robotic systems.

Top systems in this category allow complex simulation activity in a realistic 3D space technologies and tools through computer animation.

Complex computer aided design of robotic systems. Program modules and systems provide solutions in support of the main stages of formation of the technological project. By custom and practice is mainly the following stages:

- preparing a summary of the project, which contains a detailed statement, the role of its reasoning, the basic concept of solutions and endpoints to be achieved in the implementation of,
- analysis of product spectra, assessing their suitability for automated production and profiling product grouping,
- proposals of progressive and rational production methods and technical-economic indicators of production,
- proposals for appropriate organization of production (layout, equipment and service departments),
- design solutions of material and information flows,
- developing spatial solutions robotic system,
- preparation of drawings of the project,
- preparation of technical-economic part of the project and its economic rationale.
- the development of the plan of implementation of the project

The reference approach to the formation of the expert system architecture is illustrated on pic 1. For key parts of the system are considered to be user interface for promoting knowledge experts, custom knowledge base in which are recorded the structural aspects of the programs, their content and code generators, component documentation.

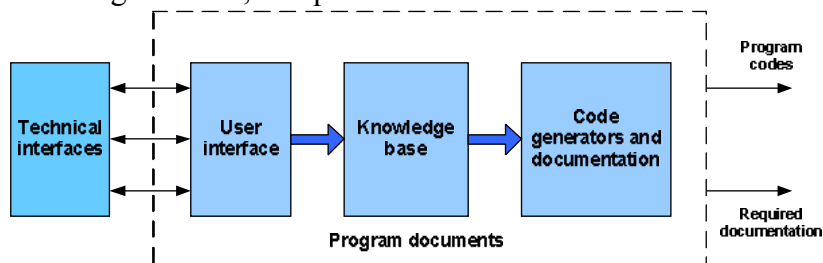


Fig. 1. Architecture experimental system for creating application software

Graphic support means for the design of robotic manufacturing systems. Labor-intensive nature of the graphic design requires implementation of different graphic support tools developed computer graphics. Graphics software systems are used in several areas:

- **Image generation** (generative computer graphics). Basic usage is in the generated image, the segmentation and transformation,

– **Image analysis.** By joining the graphical programming system is image information and the output is a formal description of the object to be imaged. Basic usage is in recognizing patterns, structures, when analyzing scenes, etc.,

– **Image processing.** By joining the graphical programming system is image information. The output of the image information. The main use is in increasing the resolution of the images and machine-made (artificial) intelligence.

Another approach to targeting of graphic software systems is derived from the principle of data processing. A distinction is graphic:

– **Scanning (points).** To create an image using the set of points. Each dot (pixel) is represented by one bit in the so-called. bit map in a computer memory. Pixel Graphics has several drawbacks and is not used for technical drawing.

– **Coordinate (vector).** Coordinate graphic uses coordinates of the points displayed objects stored in computer memory. Resolution and imaging accuracy depends on the accuracy algorithms and internal calculations. The methods used to coordinate and raster graphics are different due to the different representations and data structures.

In terms of the operator's work is an important way of communicating with graphical programming system. According to this criterion, it is possible to distinguish systems with passive and interactive graphical interface. Currently mainly used interactive methods to ensure dialogue between the operator and the graphical programming system. Interactive mode of work, however, also requires adequate hardware and software.

A qualification feature of the distribution of the graphical programming system can be a number of images generated per unit time. In this case the distinction between static and dynamic display software systems. When the image generation rate is so high, the impression of continuous movement of objects in real time, it is an animation.

2. Environment and engineering. Machinery, energy, technology, manufacturing, machinery representing the technical means by which man uses natural energy sources and raw materials, facilitate and replaces human labor, producing functional objects, transport of material and persons, protects and regulates the environment, retrieving and disseminating information.

In terms of effects on the environment are three categories of machinery:

1. Machinery, the mechanical effects, the production of waste products and waste energy sources act as depreciation of environmental pollution (transport, energy, manufacturing machines and equipment).

2. Specific machinery serving on the containment and use of waste materials and waste energy, which is emitted from technical sources (primarily other machinery) in environmental equipment (separators, filters and air emissions, wastewater and industrial wastewater treatment plants, sewage silencing and vibration).

3. Special machinery, which serve to modify the purity of air and the microclimate in the interior of residential and working environment (ventilation, air conditioning and heating systems).

The trend in the development of machines leads to the formation of complexes with each succeeding principles of transformation, transmission and processing. Formed aggregates lines - a set of devices equipped with metering and regulation devices and automatic control systems. In general terms these units as machinery. If they are used to the application of technical procedures that are technological devices if they are intended to produce the products they are manufacturing facilities.

As an example of the union machinery it includes energy facilities for heat supply, which include:

– Solid fuel boiler (conversion of chemical energy of fuel into heat energy and its transfer).

– The diesel, chemical, refractory particles (ash) from the flue gas (transfer agents, chemical processing agents).

- Trap gaseous impurities.
- Electric motors, pumps (energy conversion).
- Heaters, heat exchangers (transfer of heat energy).
- Measuring and automatic control (transmission and processing of information).

Machinery, like other technical devices are characterized by their utility function, and in the environment. Terms unilaterally raising the utility function were already in the majority of machinery overcome. Increasingly enforce aspects of evaluation functions of these devices in the environment - secondary function. Despite these tendencies Experience shows that a substantial part of the environmental burden caused directly or indirectly machinery. The main reasons for this unfavorable situation may be different.

The conversion process and transfer of energy and matter, process mechanical treatment substances in machinery are always accompanied by waste. Energy conversion and transmission shall take effect less than 100%, then loss-making energy environmentally harmful. Converting electric power to drive the machines generated by thermal load of the internal environment. The transformation of the chemical composition of substances is accompanied of side substances often with a more severe effect on the environment than had the starting material.

Machine, machinery, such as anthropogenic environmental spheres to interact on humans and other environment components, their mechanical factors, fabric, functional and aesthetic. Relationships between machines and other components of the environment and man expresses, pic. 2. As an example, the instantiation relationships include automobile. While driving one regime change affects engine exhaust emissions, noise and vibration. Climatic factors affecting human performance management of heating, respectively air conditioning. Automobile exhaust emissions affect climate through other parts of the environment, principally flora.

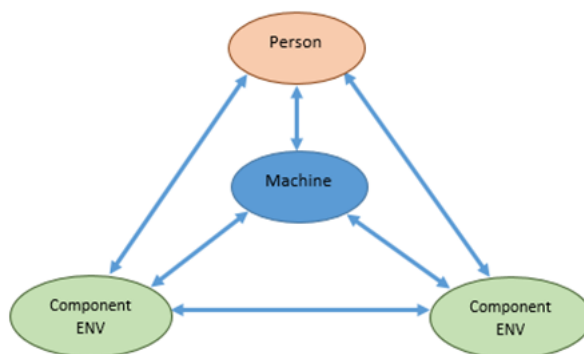


Fig. 2: Relations in the system of machine components ENV, person

Man as architect, designer of the design concept of the car affects the production of exhaust emissions and noise and the influence of man on the natural ingredients is limited and relates primarily to the elimination of consequences of the devastation of flora.

Conclusion. It is now possible to identify a high variability of project methodology and procedures to carry out only specific solutions. This fact substantially adversely affects the possibility of making the type of project or generally applicable procedures which would be reflected in the universal programming systems. Existing reference solutions of complex systems have therefore its specific peculiarities. It is expected that expert systems will represent the perspective of computer-aided design especially in areas where the absence of algorithmic procedures. Their wider use in the project activity is conditioned by solving problems related to development of methods of representation and description of the production of knowledge. Implementation of environmental policies in the current period is increasingly characterized by the precautionary principle, as a result, among other things, gives greater attention to the impact of products and technologies on the environment. Under

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

these approaches range States adopt principles of environmental product policy and implemented systems of the environmental aspects of a product before it entered the market, combined with the direct ie legal regulatory mechanisms incorporated into a mandatory system of registration, certification and authorization of indirect instruments, which are in different countries various forms of valuation and favoritism. In European countries in recent years as one of the main instruments of environmental motivation producers pushed through environmental assessment and labeling. A system which ensures that the product complies in accordance with the current state of knowledge parameters, minimizing or even negative adverse effects on the environment. The issue of preference products that meet the criteria for protection of environment during their entire life cycle, however, is increasingly coming to the fore of interest not only to consumers but also businesses and communities.

Acknowledgement. The work was supported by Ministry of Education of the Slovak Republic KEGA 048TUKE-4/2015 and VEGA 1/0124/15 Research and development of advanced methods for virtual prototyping manufacturing equipment.

References (in language original)

1. Kováč, J. a kol. Grafická informačná podpora technologicko-projektovnej činnosti. Výsk. správa, VŠT Košice, 1990.
2. Kováč, J., Auxtová, J., Rudy, V. Graficky orientované programové systémy I., II. skriptá, Sjf TU Košice, 1993, 1994.
3. Žára, J., Beneš, B., Felkel, P. Modernní počítačová grafika, Vydavatelství a nakladatelství Computer Press, Praha, 1998.
4. M. Badida, M. Majerník, D. Šebo, J. Hodolič – Strojárska výroba a životné prostredie, Košice 2001.
5. Retrieved from <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/6-2003/pdf/38-41.pdf>.
6. Retrieved from <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/5-2002/pdf/112-115.pdf>.

References

1. Kovac, J. a kol. Graphic information technology-support project activities, VST Kosice, 1990.
2. Kovac, J., Auxtova, J., Rudy, V. Graphically oriented software systems I., II. scripts, Sjf TU Kosice, 1993, 1994.
3. Zara, J., Benes, B., Felkel, P. Modern Computer Graphics, Editing and publishing Computer Press, Praha, 1998.
4. Badida, M., Majernik, M., Sebo, D., Hodolic J. Engineering and manufacturing environment. – Kosice, 2001.
5. Retrieved from <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/6-2003/pdf/38-41.pdf>.
6. Retrieved from <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/5-2002/pdf/112-115.pdf>.

Palaščáková Dominika – Ing. PhD, Technical University of Košice, Faculty of mechanical engineering, Department of Manufacturing Technology (Letna 9,042 00 Košice, Slovak Republic).

Плашчакова Домініка - Ing. PhD, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет (Letna 9,042 00 Košice, Slovak Republic).

Плашчакова Доминика – Ing. PhD, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет (Letna 9,042 00 Košice, Slovak Republic).

E-mail: dominika.palascakova@tuke.sk

Badida Miroslav – Dr.h.c. prof. Ing. PhD, Technical University of Košice, Faculty of mechanical engineering, Department of Process and Environmental Engineering (Park Komenskeho 5, 042 00 Košice, Slovak Republic).

Бадіда Мирослав - Dr.h.c. mult. prof. Ing. PhD, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет (Park Komenskeho 5, 042 00 Košice, Slovak Republic).

Бадида Мирослав – Dr.h.c. mult. prof. Ing. PhD, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет (Park Komenskeho 5, 042 00 Košice, Slovak Republic).

E-mail: miroslav.badida@tuke.sk

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.24

Дмитрий Алексеевский, Ольга Панкова, Павел Щипанский

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КООРДИНАТ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ НА ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ ВЭУ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЕМ

Дмитро Алексієвський, Ольга Панкова, Павло Щіпанський

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КООРДИНАТ РОБОЧОЇ ТОЧКИ НА ПАРАМЕТРИ МОДЕЛІ ВЕУ З АЕРОДИНАМІЧНИМ МУЛЬТИПЛІКУВАННЯМ

Dmitriy Alekseevskiy, Olga Pankova, Pavel Shchipanskiy

RESEARCH OF OPERATING POINT COORDINATE INFLUENCE ON THE PARAMETERS OF A WIND TURBINE MODEL WITH AERODYNAMIC MULTIPLICATION

Рассмотрена передаточная функция звена аэродинамического преобразования ветроэнергетической установки с аэродинамическим мультиплицированием. Производится анализ изменения параметров линеаризованной модели звена аэродинамического мультиплицирования и параметров передаточной функции в зависимости от изменения координат рабочей точки на статической траектории регулирования. Показана необходимость коррекции параметров регулятора для электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, генератор, коэффициент, передаточная функция, аэродинамическое мультиплицирование, ветротурбина.

Рис.: 3. Библ.: 4.

Розглянуто передавальну функцію ланки аеродинамічного перетворення вітроенергетичної установки з аеродинамічним мультиплікуванням. Проведено аналіз зміни параметрів линеаризованої моделі ланки аеродинамічного мультиплікування та параметрів передавальної функції залежно від зміни координат робочої точки на статичній траєкторії регулювання. Показана необхідність корекції параметрів регулятора для електромеханічної системи ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням.

Ключові слова: вітроенергетична установка, генератор, коефіцієнт, передавальна функція, аеродинамічне мультиплікування, вітротурбіна.

Рис.: 3. Бібл.: 4.

Aerodynamic transform transmission function of wind power system with aerodynamic multiplication is considered in this article. Analysis of change of element linearized model of aerodynamic multiplication and transmission function parameters depended on the change of operation point coordinates on the regulator static trajectory is performed. The necessity of regulator parameters correction for electromechanical system of wind turbine with aerodynamic multiplication.

Key words: wind plant, generator, coefficient, transfer function, aerodynamical multiplication, wind turbine.

Fig.: 3. Bibl.: 4.

Постановка проблемы. В настоящее время одной из перспективных схем построения электромеханической системы ветроэнергетической установки является схема с аэродинамическим мультиплицированием [1]. Такая система имеет ряд преимуществ перед классической схемой. Она позволяет избавиться от механического мультипликатора при относительно высокой угловой скорости генератора. Однако наличие звена двойного аэромеханического преобразования повышает порядок системы, увеличивает число нелинейных элементов в структуре системы, усложняя закон регулирования по сравнению с классической ветроэнергетической установкой.

При синтезе регулятора используется передаточная функция. При определении параметров передаточной функции используется линеаризация [3]. Так как система имеет в своем составе несколько нелинейных элементов, в основном связанных с аэродинамическим преобразованием, то, естественно, что параметры передаточной функции будут иметь разные значения для различных рабочих точек. В свою очередь, координаты рабочей точки зависят от значения скорости ветрового потока. Поэтому возникает проблема определения параметров линеаризованной модели в зависимости от положения рабочей точки.

Анализ последних исследований и публикаций. Системе с аэродинамическим мультиплицированием были посвящены работы [1, 2, 3, 4] и другие работы этих же ав-

торов. В работах [2] и [4] рассматривается система управления данной ВЭУ. Вопросам определения передаточной функции звена аэродинамического мультиплицирования была посвящена работа [3]. В ней была рассмотрена исходная математическая модель звена, произведена линеаризация исходной модели, предложена методика определения коэффициентов передаточной функции.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Параметры передаточной функции зависят от координат рабочей точки на статической траектории регулирования. Это требует постоянного изменения параметров регулятора, когда ВЭУ работает при разных значениях ветрового потока. Исследование функции при изменении скорости ветра рассмотрено не было. В связи с этим актуализируется проблема определения значений параметров передаточной функции для различных точек статической траектории регулирования.

Цель статьи. Целью работы было исследование изменения параметров линеаризованной модели и коэффициентов передаточной функции в зависимости от положения рабочей точки на статической траектории регулирования.

Изложение основного материала. Анализ изменения координат рабочей точки проводился для участка оптимального отбора мощности статической траектории регулирования.

Модель звена аэродинамического преобразования описывается системой уравнений (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{WT1} - M_T \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{WT2} - M_g \\ M_{WT1} = f_1(\omega_1, V_1) \\ M_{WT2} = f_2(\omega_2, V_2) \\ V_2 = R_z \cdot \omega_1 \\ M_T = \frac{3P_{WT2}}{\omega_1} \\ P_{WT2} = M_{WT2} \cdot \omega_2 \end{array} \right. , \quad (1)$$

где $f_1(\omega_1, V_1)$, $f_2(\omega_2, V_2)$ – описание семейства механических характеристик первичной и вторичной ветротурбины;

ω_1, ω_2 – угловая скорость вращения первичной и вторичной ветротурбины в рабочей точке;

M_T – момент торможения первичной аэромеханической подсистемы;

P_{WT2} – мощность вторичной ветротурбины;

V_2 – скорость вторичного воздушного потока в рабочей точке;

M_{WT2}, M_{WT1} – момент первичной и вторичной ветротурбины;

J_1^*, J_2^* – момент инерции первичной и вторичной аэромеханических подсистем в относительных единицах;

R_z – радиус закрепления вторичной ветротурбины.

Решение поставленной задачи производилось в три этапа [3]:

1. Определения координат рабочих точек.
2. Определение коэффициентов линеаризации.
3. Определение коэффициентов передаточной функции.

Определение координат рабочих точек проводилось с помощью методики, изложенной в [3], для различных значений скорости ветра. Полученные рабочие точки, на статической траектории регулирования, позволили определить значения параметров ω_2 , M_{WT2} , P_{WT2} , V_2 , необходимых для определения коэффициентов линеаризации.

Для нахождения коэффициентов линеаризации была использована линеаризованная блок-схема модели звена аэродинамического преобразования (рис. 1). Блок-схема линеаризованной модели определена в [3]. В данной работе она приведена без изменения (для наглядности изложения).

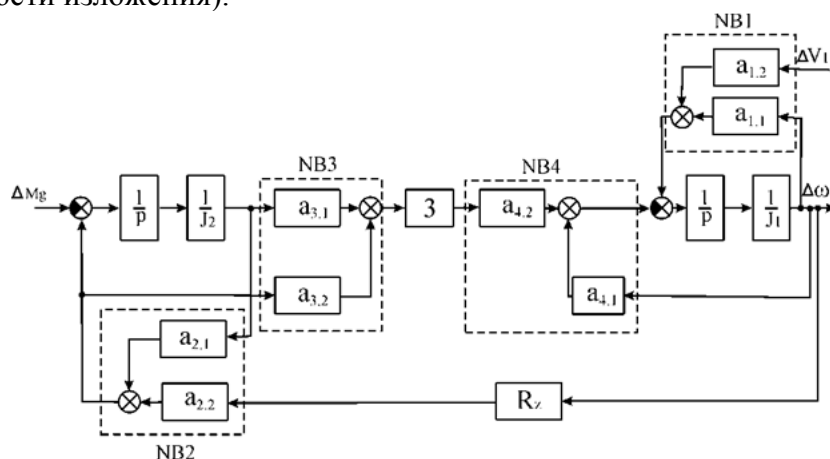


Рис. 1. Блок-схема модели звена аэродинамического преобразования после линеаризации

Коэффициенты линеаризации ($a_{1,1}$ - $a_{4,2}$) зависят от положения рабочей точки на статической траектории регулирования. Они определяются по входным параметрам нелинейных блоков с помощью стандартной процедуры линеаризации [3].

Полученные зависимости коэффициентов линеаризации в виде графиков представлены на рис. 2.

Из графиков зависимости можно видеть, что коэффициенты $a_{1,2}$, $a_{2,1}$, $a_{2,2}$, $a_{3,2}$, $a_{4,1}$ имеют линейно возрастающую и убывающую зависимость, а коэффициенты $a_{3,1}$ и $a_{4,2}$ — квадратичную и обратную зависимость соответственно.

Передаточная функция звена аэродинамического мультиплицирования имеет вид выражения для колебательного звена:

$$W(p) = \frac{Ky}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1} \tag{2}$$

Расчет значений коэффициентов передаточной функции при изменении скорости ветра был произведен по методике, предложенной в [3], с помощью следующих выражений:

$$Ky = \frac{(a_{3,1} \cdot a_{4,2} + a_{2,1} \cdot a_{3,2} \cdot a_{4,2})}{\left(\frac{1}{3} \cdot a_{1,1} \cdot a_{2,1} - \frac{1}{3} \cdot a_{2,1} \cdot a_{4,1} + R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,1} \cdot a_{4,2}\right)},$$

$$T = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{3} \cdot J_1^* \cdot J_2^*\right)}{\left(\frac{1}{3} \cdot a_{1,1} \cdot a_{2,1} - \frac{1}{3} \cdot a_{2,1} \cdot a_{4,1} + R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,1} \cdot a_{4,2}\right)}},$$

$$\xi = \frac{\left(\frac{1}{3} \cdot J_2^* \cdot a_{1,1} - \frac{1}{3} \cdot J_2^* \cdot a_{2,1} + \frac{1}{3} \cdot J_2^* \cdot a_{4,1} + J_2^* \cdot R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,2} \cdot a_{4,2}\right)}{2 \cdot T \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot a_{1,1} \cdot a_{2,1} - \frac{1}{3} \cdot a_{2,1} \cdot a_{4,1} + R_z^* \cdot a_{2,2} \cdot a_{3,1} \cdot a_{4,2}\right)} \tag{3}$$

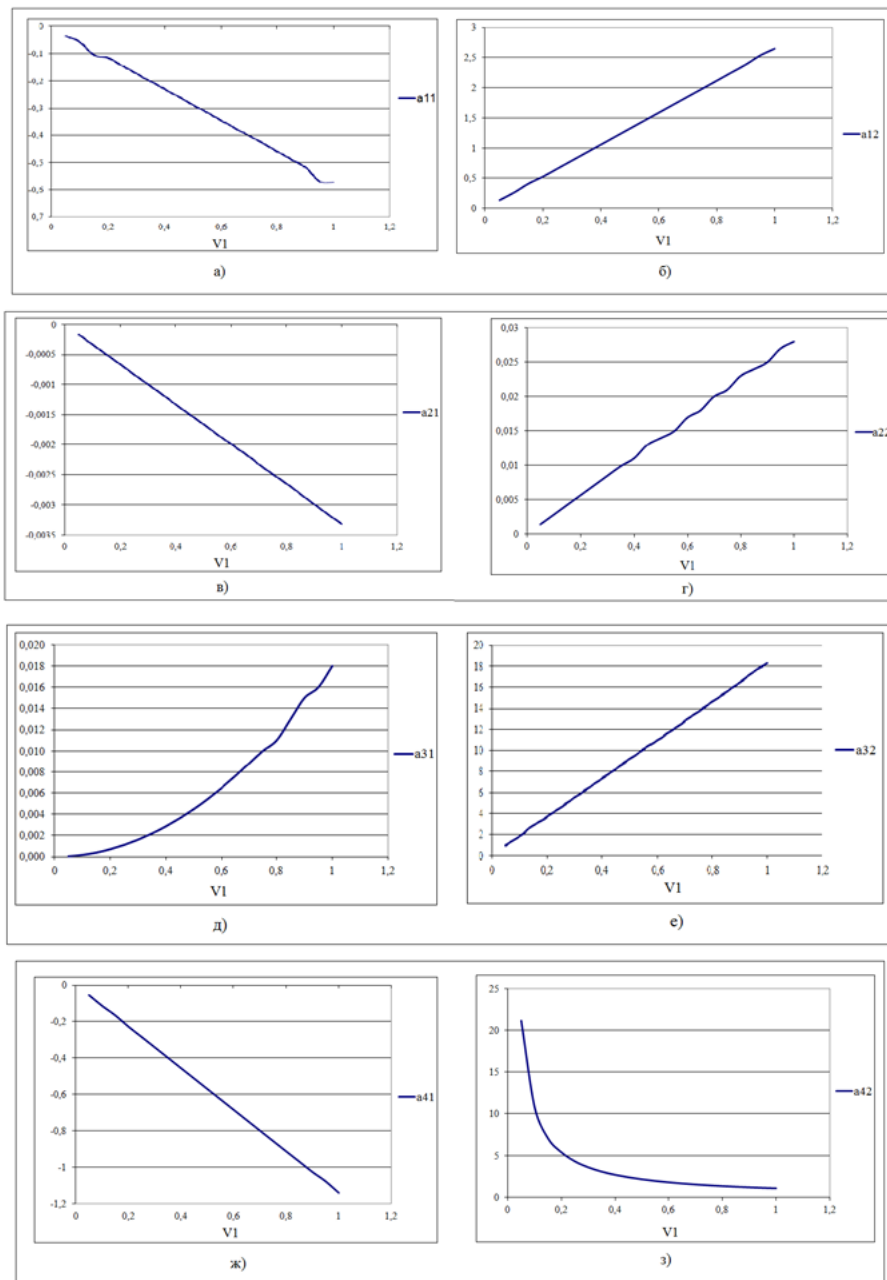


Рис. 2. Графики зависимости коэффициентов линеаризации от скорости первичного ветрового потока

Полученные зависимости коэффициентов передаточной функции при изменении скорости ветра представлены в виде графиков на рис. 3.

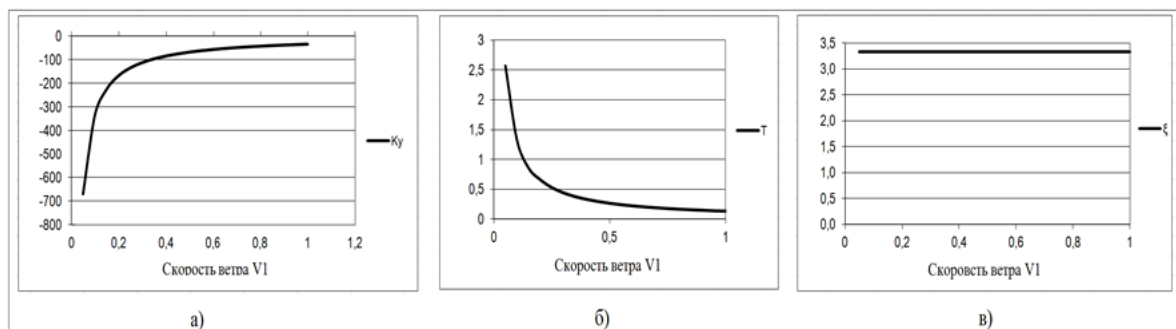


Рис. 3. Графики зависимости коэффициентов передаточной функции от скорости ветра

На графике видно, что коэффициент усиления K_u и постоянная времени T зависят от изменения скорости первичного ветрового потока и имеют вид убывающей по модулю зависимости, коэффициент ξ остается постоянным с изменением скорости ветрового потока. Как видно из графиков K_u и T , эти значения существенно изменяются в зависимости от положения рабочей точки. Это изменение заметно влияют на частотные свойства системы, что требует соответствующей коррекции параметров регулятора для электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

Выводы и предложения. В результате исследования были получены зависимости коэффициентов линеаризованной модели и коэффициентов передаточной функции от положения рабочей точки.

Полученные зависимости коэффициентов линеаризованной модели позволяют осуществлять коррекцию параметров регулятора ветроэнергетической установки с аэродинамическим мультиплицированием в зависимости от значений скорости ветрового потока.

Параметр передаточной функции ξ не зависит от положения рабочей точки.

Параметры K_u и T существенно зависят от положения рабочей точки, что должно быть учтено при синтезе регулятора.

В статье было рассмотрено изменение параметров передаточной функции только на участке статической траектории регулирования – участке оптимального отбора мощности, который является общим для большинства статических траекторий регулирования. В дальнейшем авторами планируется проведение анализа изменения коэффициентов линеаризованной модели на участке ограничения мощности для различных статических траекторий регулирования.

Список использованных источников

1. Алексеевский Д. Г. Динамика ветроэлектрической установки с аэродинамической мультипликацией / Д. Г. Алексеевский, В. П. Метельский, И. Ю. Немудрый // *Электротехника та комп'ютерні системи*. – 2011. – № 3 (79). – С. 253–254.
2. Алексеевский Д. Г. Моментное управление ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием / Д. Г. Алексеевский // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Технічні науки»*. – 2015. – № 5 (90). – С. 32–37.
3. Алексеевский Д. Г. Определение передаточной функции звена аэродинамического преобразования электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием / Д. Г. Алексеевский // *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»*. Темат. вып.: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Х. : НТУ «ХПИ», 2015. – № 12 (1121). – С. 168–172.
4. Миргород В. Ф. Управление ветроэнергетической установкой большой мощности по запасам аэродинамической устойчивости / В. Ф. Миргород // *Вестник двигателестроения*. – 2009. – № 3. – С. 67–70.

References

1. Alekseevskiy, D.G., Metelskiy, V.P., Nemudryy, I.Yu. (2011). Dinamika vetroelektricheskoi ustanovki s aerodinamicheskoi multiplikatsiei [The dynamics of a wind power plant with aerodynamic animation]. *Elektrotehnika ta kompiuterni systemy – Electrotechnic and computer systems*, no. 3 (79), pp. 253–254 (in Russian).
2. Alekseevskiy, D.G. (2015). Momentnoe upravlenie VEU s aerodinamicheskimi multiplitsirovaniem [Torque control with aerodynamics multiplication]. *Visnik Kyivskoho natsionalnoho universitetu tekhnologii ta dizainu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Ser. Technical Sciences*, no. 5 (90), pp. 32–37 (in Russian).
3. Alekseevskiy, D.G. (2015). Opredelenie peredatochnoy funktsii zvena aerodinamicheskogo preobrazovaniya elektromekhanicheskoy sistemy VEU s aerodinamicheskimi multiplitsirovaniem [Determination of the transfer function of the aerodynamic conversion unit of electromechanical system for wind power plant with aerodynamic multiplication]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta «KhPI». Temat. vyp.: Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika – Bulletin of National Tech-*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

nical University "KhPI". Ser. Problems of automated electric. Theory and practice, no. 12 (1121), pp. 168–172 (in Russian).

4. Mirgorod, V.F. (2009). Upravlenie vetroenergeticheskoy ustanovkoy bol'shoy moshchnosti po zapasam aerodinamicheskoy ustoychivosti [Control wind energy installation great power by aerodynamic reserve stability]. *Vestnik dvigatelestroeniia – Bulletin of propulsion engineering*, no. 3, pp. 67–70 (in Russian).

Алексеевский Дмитрий Геннадиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные системы», Запорожская государственная инженерная академия (просп. Соборный 226, г. Запорожье, 69006, Украина).

Алексієвський Дмитро Геннадійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронні системи», Запорізька державна інженерна академія (просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна).

Alekseevskiy Dmitriy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Chair of Electronic Systems, Zaporozhe State Engineering Academy (226 Soborny Av., 69006 Zaporozhye, Ukraine).

E-mail: signal@mail.ru

Панкова Ольга Олеговна – аспирант кафедры «Электронные системы», Запорожская государственная инженерная академия (просп. Соборный 226, г. Запорожье, 69006, Украина).

Панкова Ольга Олегівна – аспірант кафедри «Електронні системи», Запорізька державна інженерна академія (просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна).

Pankova Olga - PhD student of Chair of Electronic Systems, Zaporozhe State Engineering Academy (226 Soborny Av., 69006 Zaporozhye, Ukraine).

E-mail: bloxa2007@ukr.net

Щипанский Павел Андреевич – студент, Запорожская государственная инженерная академия (просп. Соборный 226, г. Запорожье, 69006, Украина).

Щіпанський Павло Андрійович – студент, Запорізька державна інженерна академія (просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна).

Shchipanskiy Pavel – student, Zaporozhe State Engineering Academy (226 Soborny Av., 69006 Zaporozhye, Ukraine).

E-mail: schipanskiy@mail.ru

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 674.047

Павло Ігнатенко, Олена Ігнатенко, Сергій Сапон

АНАЛІЗ ЯКОСТІ СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ НА ЗАКЛЮЧНОМУ ЕТАПІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Павел Игнатенко, Елена Игнатенко, Сергей Сапон

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОМ ЭТАПЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СУШЕНИЯ

Paul Ihnatenko, Elena Ihnatenko, Serhii Sapon

ANALYSIS OF QUALITY OF DRYING OF SAW-TIMBERS ON THE FINAL STAGE OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF DRYING

Проаналізовано показники якості сушіння пиломатеріалів. Визначено показник рівномірності кінцевої вологості. Встановлено чотири категорії якості сушіння пиломатеріалів. Для забезпечення необхідної якості пиломатеріалів запропоновано новий спосіб закінчення технологічного процесу сушіння.

Ключові слова: показники якості, пиломатеріали, технологічний процес, кондиціонування, камерне сушіння.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 6.

Проведен анализ показателей качества сушки пиломатериалов. Определен показатель равномерности конечной влажности. Установлены четыре категории качества сушки пиломатериалов. Для обеспечения необходимого качества пиломатериалов предложен новый способ окончания технологического процесса сушки.

Ключевые слова: показатели качества, пиломатериалы, технологический процесс, кондиционирование, камерная сушка.

Рис.: 2. Табл.: 1. Библ.: 6.

The analysis of indexes of quality of drying of saw-timbers is conducted. The index of evenness of eventual humidity is certain. Four categories of quality of drying of saw-timbers are set. For providing of necessary quality of saw-timbers the new method of completion of technological process of drying is offered.

Key words: indexes of quality, saw-timbers, technological process, conditioning, chamber drying.

Fig.: 2. Tabl.: 1. Bibl.: 6.

Постановка проблеми. На підприємствах сушіння деревини здійснюють у вигляді пиломатеріалів (дошок, брусів, заготовок), шпону (тонколистового матеріалу), трісок, стружки і волокон. Інколи має місце сушіння круглих лісоматеріалів (деталі опор ліній електропередачі, зв'язку, будівельні деталі).

У результаті сушіння деревина з природної сировини перетворюється у промисловий матеріал, що відповідає найрізноманітнішим вимогам, які висуваються до нього в різних виробничих і побутових умовах. Вміст вологи в деревині, як і інших речовинах, характеризують величиною відношення маси вологи в деревині до маси деревини. У технології деревообробки прийнято розраховувати вологість як відношення маси вологи, що міститься в деревині, до її маси в абсолютно сухому стані. Вміст зв'язаної вологи в деревині обмежений. Стан, за якого стінки кліток мають максимальну вологість при зіткненні їх з рідкою вологою, називається межею їхнього насичення. Вологість межі насичення ($W_{M.H}$) практично не залежить від породи і складає в середньому 30 %.

Суха деревина, на відміну від сирової, легко клеїться, добре піддається обробці. Контроль за кінцевим показником вологості є головним чинником у процесі сушки [1].

Аналіз досліджень і публікацій. В Україні розробленням технологічних процесів сушіння і захисту деревини займаються П. В. Білей, В. М. Павлюст (Національний лісотехнічний університет України) [2]. Дослідженню процесів сушіння деревини присвячені роботи А. І. Расєва [3] і І. В. Кречетова [4]. Крім того, дослідження з автоматизації сушіння пиломатеріалів проводять компанія Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan [5] та інші. Технологічним процесам сушіння композиційних матеріалів присвячені роботи А. М. Єрошенко, С. В. Бойко [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У разі зниженні вологості деревини поліпшуються її фізико-механічні й експлуатаційні властивості. Відомо, що у випадку зміни вмісту вологи в деревних сортаментах змінюються їхні розміри і форма. У тих випадках, коли під час експлуатації виробів з деревини необхідна сталість розмірів і форми деталей, їхня вологість повинна бути заздалегідь доведена до визначеного рівня, що відповідає умовам експлуатації цих виробів, тобто до експлуатаційної вологості. Зниження вологості деревини приводить до зниження її маси та одночасного підвищення міцності.

Мета статті. Проаналізувати показники якості сушіння пиломатеріалів і запропонувати спосіб закінчення технологічного процесу сушіння.

Виклад основного матеріалу. Якість сушіння пиломатеріалів характеризується певними показниками, основними з яких є:

- видимі дефекти сушіння;
- середня величина кінцевої вологості;
- рівномірність кінцевої вологості;
- перепад вологості по товщині;
- залишкові напруження.

Показники якості сушіння встановлюються стосовно визначеної партії деревини. За таку партію зазвичай приймають штабель дощок чи заготівель.

Спочатку розглянемо перший показник – видимі дефекти сушіння. У висушеному матеріалі незалежно від його призначення видимі дефекти не допускаються.

До видимих дефектів деревини, що можуть з'явитися під час її сушіння, відносяться розтріскування і короблення. На практиці зустрічається зовнішнє, внутрішнє, торцеве і радіальне розтріскування.

Зовнішні тріщини утворюються в матеріалі в початковий період сушіння, коли діючі на поверхні розтягуючі напруження перевищують межу міцності. Причина утворення зовнішніх тріщин – занадто твердий режим сушіння, а захід попередження – застосування раціонального режиму.

Внутрішні тріщини можуть з'явитися наприкінці процесу, якщо в центрі сортименту виникли надмірно великі напруження, що розтягують. Щоб попередити їхнє утворення, необхідно дотримуватися режиму сушіння і проводити проміжну і кінцеву вологотеплообробки.

Виникнення торцевих тріщин зумовлене більш інтенсивним сушінням торців у порівнянні із середньою частиною сортименту. Найбільш ефективний спосіб попередження цього дефекту – замазування торців вологонепроникною сумішшю. Через велику трудомісткість цей захід при масовому сушінні не застосовується.

Правильне укладання пиломатеріалів у штабелі, зокрема вирівнювання торців штабеля, розміщення крайніх прокладок на одному рівні з торцями дощок, формування повногабаритного штабеля, значно знижує торцеве розтріскування. Торцеві тріщини в цьому випадку бувають неглибокими і при поперечному розкрої пиломатеріалів втрачають незначними.

Радіальні тріщини виникають під час сушіння круглих лісоматеріалів і пиломатеріалів, що містять серцевинну трубку. Причина їхнього утворення – різний ступінь усихання в радіальному і тангенціальному напрямках. Попередити їхню появу при камерному чи атмосферному сушінні неможливо навіть при самому обережному і повільному проведенні процесу. Щоб уникнути цього дефекту, при розкрої пиломатеріалів варто вирізувати серцевину чи стежити, щоб вона знаходилася на поверхні.

Короблення пиломатеріалів у процесі сушіння відбувається також через різний ступінь усихання в радіальному і тангенціальному напрямках. У дощок тангенціального ро-

зпилювання незалежно від режиму сушіння усадка зовнішньої пласті (стосовно центру колоди) буде під час сушіння більше, ніж усадка внутрішньої пласті. Це приводить до вигину (короблення) дошки в поперечному напрямку (рис. 1). Дошки радіального розпилювання не коробляться. Різниця усушки деревини вздовж і поперек волокон викликає поздовжнє короблення. Для того щоб запобігти поперечному і подовжньому коробленню дощок, їх варто сушити в затиснутому стані, дотримуватись правила формування штабеля (укладати в один ряд дошки строго однакової товщини, застосовувати стандартні стругані прокладки, кожен ряд яких повинен знаходитися в одній вертикальній площині). У цьому випадку плоска форма дощок у штабелі фіксується масою самої деревини, за винятком верхніх двох-трьох рядів. У верхньому ряді варто укладати дошки радіального розпилювання чи матеріал не відповідного призначення. Таким чином, короблення дощок у процесі сушіння виникає тільки у разі неправильного і недбалого укладання, але не є наслідком неправильно обраного режиму сушіння. Відхилення ж від раціонального режиму може призвести до утворення тріщин [4].

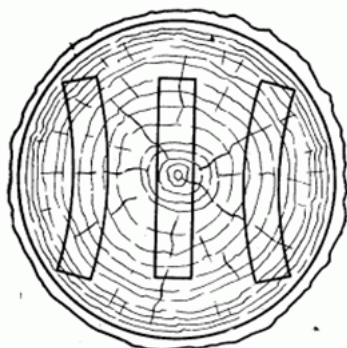


Рис. 1. Поперечне короблення дошки в поперечному напрямку

Середня величина кінцевої вологості контрольованої партії визначається в такий спосіб. Зі штабеля в зонах швидкого й уповільненого просихання матеріалу відбирають не менше дев'яти дощок. З кожної дошки випилюють дві секції вологості і визначають їхню вологість (рис. 2). Вологість партії W_{CP} обчислюють як середнє арифметичне з отриманих значень вологості секцій.

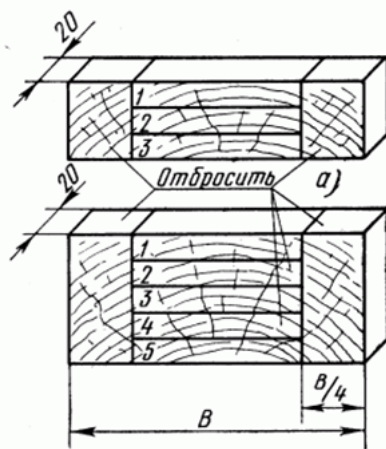


Рис. 2. Секції пошарової вологості пиломатеріалів (B-ширина дошки)

Рівномірність кінцевої вологості. Показником рівномірності вважають середнє квадратичне відхилення, що обчислюється за формулою

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{CP})^2}}{n-1},$$

де W_i – вологість окремої секції, %;

W_{CP} – середня вологість штабеля, %;

n – число секцій вологості.

Фактична вологість окремих дощок штабеля з імовірністю 95 % (у 95 випадках зі 100) буде знаходитися в межах $W_{CP} \pm 2\sigma$.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Перепад вологості по товщині контролюють по секціях пошарової вологості, що випилюють з відібраних дощок поруч із секціями для визначення загальної вологості. Секції розколюють за схемами, приведеними на рис. 2: при товщині дощок до 50 мм на рис. 2, а, при товщині 50 мм і більше – на рис. 2, б. Різниця у вологості бічних (зважуваних разом) і середніх смужок показує перепад вологості.

Залишкові напруження у висушеному матеріалі встановлюють по силових секціях, що випилюються поруч із секціями пошарової вологості з кожної відібраної дошки. Можна вважати, що деревина практично вільна від залишкових напружень, якщо відносне відхилення зубців секції (у вершині) від нормального положення не перевищує 1,5–2 % довжини зубця.

Висушена деревина повинна відповідати за якістю сушіння своєму призначенню. Призначення деревини різноманітне, і тому різні і вимоги щодо якості сушіння.

Залежно від цих вимог «Керівними матеріалами з камерного сушіння пиломатеріалів» встановлено чотири категорії якості.

I категорія – сушіння пиломатеріалів до експлуатаційної вологості, що забезпечує механічну обробку і зборку деталей по 12-10-му квалітетам (ДСТ 6449—76) (точне машинобудування, приладобудування, виробництво моделей, лиж).

II категорія – сушіння пиломатеріалів до експлуатаційної вологості, що забезпечує механічну обробку і зборку деталей по 13-11-му квалітетам (виробництво меблів, автобудування, пасажирське вагонобудування).

III категорія – сушіння пиломатеріалів до експлуатаційної вологості, що забезпечує механічну обробку і зборку деталей по 15-13-му квалітетам (вантажне авто- і вагонобудування, сільгоспмашинобудування, виробництво тари).

0 (нульова) категорія – сушіння до транспортної вологості товарних пиломатеріалів без зниження їхньої міцності і зміни кольору (для експортних).

Необхідна величина середньої кінцевої вологості деревини після сушіння коливається для різних виробів у широких межах і регламентується стандартами і технічними умовами [4]. Норми вимог до інших показників якості регламентуються Керівними матеріалами (табл.).

Таблиця

Норми вимог до якості сушіння пиломатеріалів і заготовок

Категорія якості сушіння	Середня кінцева вологість деревини, %	Допустимі відхилення кінцевої вологості у партії від середньої, %	Допустимий перепад вологості, %, при товщині пиломатеріалів, мм				Залишкові внутрішні напруження
			13-22	25-40	45-60	70-90	
0	19	+2 -4	Не контролюється				Не контролюються
I	6 8	+1,5 ±2	1,5	2,0	2,5	3,0	Не допускаються
II	6 8 10	±2 ±2,5 ±3	2,0	3,0	3,5	4,0	Те ж саме
III	8 10 12 15	±3 +4 ±5 ±5	2,5	3,5	4,0	5,0	Не контролюються

При проведенні камерного сушіння пиломатеріалів обов'язково записуються всі спостереження і виміри. Запису підлягають:

- фактичний і рекомендований режимом стан середовища в камері (запис проводять щогодини);
- характеристика пиломатеріалів і їхня кількість;

- результати контролю поточної вологості пиломатеріалів;
- результати аналізу внутрішніх напружень і залишкових деформацій;
- режими і результати проміжної і кінцевої вологотеплообробок;
- результати контролю якості сушіння;
- причини простою камери й інші факти, що відносяться до проведення сушіння.

Для записів доцільно використовувати спеціальні журнали і карти сушіння, що рекомендовані «Керівними матеріалами з камерного сушіння пиломатеріалів».

Висновки і пропозиції. Для забезпечення необхідної якості пиломатеріалів закінчення процесу сушіння необхідно проводити в такий спосіб.

Після досягнення матеріалом заданої кінцевої вологості (що встановлюють за контрольними зразками) призначають вологотеплообробку. Після її закінчення закривають зволожувальні труби, у камері створюють параметри сушильного агента за останнім шаблем режиму і протягом 2–4 год (залежно від товщини пиломатеріалів) проводять підсушування поверхневих шарів. Потім зі штабеля відбирають проби для визначення показників якості сушіння.

У період виконання контрольних операцій у камері проводять кондиціонування. При виконанні цієї операції температуру середовища підтримують на 5 °С вище температури останнього шабля режиму сушіння (але не більш 100 °С), а ступінь насичення встановлюють за величиною рівноважної вологості деревини, що дорівнює кінцевій вологості, збільшеній на 1 %. Якщо деревина відповідає пропонованим вимогам, подачу пари в калорифери припиняють, камеру прохолоджують до 30–40° С спочатку при відкритих приточно-витяжних каналах, а потім при напіввідчинених дверях, далі штабелі викочують і починають готувати камеру до наступного завантаження. Якщо ж встановлено, що матеріал не відповідає необхідним вимогам, то повинна бути призначена додаткова вологотеплообробка (за наявності в матеріалі залишкових напружень) чи продовжене кондиціонування (у разі неприпустимого діапазону коливання кінцевої вологості).

Список використаних джерел

1. Ігнатенко П. Л. Особливості процесу сушіння деревини / П. Л. Ігнатенко, В. І. Ступа // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 4 (53). – С. 257–261.
2. Білей П. В. Сушіння і захист деревини : підручник / П. В. Білей, П. М. Павлюст. – Львів : Ліга-Прес, 2008. – 312 с.
3. Расев А. И. Тепловая обработка и сушка древесины / А. И. Расев. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 360 с.
4. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины / И. В. Кречетов. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – 372с.
5. Технічна документація HT1621 компанії Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan. 2001. – 118 с.
6. Єрошенко А. М. Дослідження фізико-механічних властивостей деревинних композиційних матеріалів / А. М. Єрошенко, С. В. Бойко // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). – С. 199–204.

References

1. Ihnatenko, P.L., Stupa, V.I. (2011). Osoblyvosti protsesu sushinnia derevyny [The specifics of wood drying process]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia. Tekhnichni nauky – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 4 (53), pp. 257–261 (in Ukrainian).
2. Bilei, P.V., Pavliust, P.M. (2008). *Sushinnia i zakhyst derevyny [The drying and protection of the wood]*. Lviv: Liha-Press (in Ukrainian).
3. Rasev, A.I. (2009). *Teplovaia obrabotka i sushka drevesiny [The heat treatment and drying of wood]*. Moscow: MSFU (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Krechetov, I.V. (1987). *Sushka i zashchita drevesiny [The drying and protection of the wood]*. Moscow: Lesn. prom. (in Russian).
5. Tekhnichna dokumentatsiia HT1621 kompanii Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan [Technical documentation HT1621 of Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan] (2001).
6. Yeroshenko, A.M. & Boiko, S.V. (2016). Doslidzhennia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei derevynnykh kompozytsiinykh materialiv [Study Physical And Mechanical Properties Of Wood Composites]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2, pp. 199–204 (in Ukrainian).

Ігнатенко Павло Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Игнатенко Павел Леонидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Ihnatenko Paul – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: ignatenkop1@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0967-1631>

ResearcherID: G-6310-2014

Ігнатенко Олена Анатоліївна – асистент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Игнатенко Елена Анатольевна – ассистент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Ihnatenko Elena – assistant of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: laignatenko@ukr.net

Сапон Сергій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Сапон Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Sapon Serhii – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of machine building technology and wood processing department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: s.sapon@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1082-6431>

ResearcherID: G-7764-2014

Scopus Author ID: 56736964700

УДК [661.15''9:635.912]-047.37

*Ірина Соломаха, Альона Жабинська, Катерина Шевченко***ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЖИВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ
ПРИ ВОЛОГОМУ ЗБЕРІГАННІ ЗРІЗАНОЇ ГВОЗДИКИ РЕМОНТАНТНОЇ***Ірина Соломаха, Алёна Жабинская, Екатерина Шевченко***ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ
ПРИ ВЛАЖНОМ ХРАНЕНИИ СРЕЗАННОЙ ГВОЗДИКИ РЕМОНТАНТНОЙ***Iryna Solomakha, Aliona Zhabynska, Kateryna Shevchenko***EFFICIENCY OF APPLYING OF NUTRIENT SOLUTION FOR WET STORAGE OF
CUT CARNATIONS REMONTANT**

Визначено оптимальні умови для зберігання рослинного матеріалу, виявлена здатність зрізаних рослин протистояти в'яненню. Відображено результати досліджень щодо використання різних поживних розчинів при холодному вологому зберіганні зрізаної гвоздики ремонтантної з метою підтримки декоративності для створення флористичних композицій і букетів.

Ключові слова: тривалість життя зрізаних квітів, способи зберігання свіжої зрізаної квіткової продукції, холодне вологе зберігання гвоздики ремонтантної.

Табл.: 3. Бібл.: 9.

Определены оптимальные условия для хранения растительного материала, выявлена способность срезанных растений противостоять увяданию. Отражены результаты исследований по использованию различных питательных растворов при холодном влажном хранении срезанной гвоздики ремонтантной с целью поддержания декоративности для создания флористических композиций и букетов.

Ключевые слова: продолжительность жизни срезанных цветов, способы хранения свежей срезанной цветочной продукции, холодное влажное хранение гвоздики ремонтантной.

Табл.: 3. Библ.: 9.

The optimal conditions for storage of plant material and the ability of cut plants to resist withering have been identified in the paper. The results of investigations of usage of various nutrient solutions for cold wet storage of cut carnations remountant in order to maintain decorativeness for creation of floristic arrangements and bouquets are described.

Key words: lifespan of cut flowers, methods of storing fresh cut flower production, cold wet storage of carnation remountant.

Табл.: 3. Bibl.: 9.

Постановка проблеми. При інтенсивному розвитку вітчизняного квітникарства і збільшенні виробництва квітів на зрізання, підприємства все більшу увагу приділяють заходам щодо подовження строків їх збереження. Значна частина ніжної квіткової продукції втрачає свої декоративні якості, товарний вигляд і навіть гине на логістичному шляху просування її від виробника до кінцевого споживача: під час транспортування, зберігання та реалізації. В результаті чого завдаються відчутні збитки економіці господарств і галузі в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпосередньо дослідженням зберігання квіткової продукції займаються такі російські вчені, як Л. І. Аткина, М. І. Шевлякова [1], І. С. Шеметова, А. Н. Лисенко [2]. На світовому ринку лідируючі позиції посідають розроблені препарати для зберігання зрізаної квіткової продукції компанії Chrystal International BV [3]. Вітчизняні науковці подібні дослідження не проводили.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Оскільки зрізані квіти – це особливий вид продукції, для збереження якої не завжди придатні традиційні способи, застосовувані в сільськогосподарській практиці, то стало актуальним пошук і застосування ефективних методів зберігання зрізаної квіткової продукції.

Мета статті. Головною метою статті є дослідження впливу різних методів вологого зберігання зрізаної гвоздики ремонтантної на строки її зберігання.

Для досягнення поставленої мети було визначено та реалізовано таке коло завдань:

- систематизовано наявні наукові надбання щодо подовження строків зберігання зрізаної квіткової продукції, досліджено існуючі патенти щодо хімічного складу поживних розчинів;

- досліджено наявність, асортимент та ціну препаратів для зберігання зрізаної квіткової продукції в роздрібній торговельній мережі м. Чернігова;

- проведено дослідження щодо впливу живильних розчинів різного хімічного складу на термін зберігання зрізаної гвоздики при різних температурних режимах.

Виклад основного матеріалу. За своєю природою квіти, на відміну від плодів, насіння та іншої сільськогосподарської продукції, не мають періоду спокою, що значною мірою ускладнює збереження їх протягом тривалого часу.

Пошук засобів продовження життя та декоративності зрізаних квітів тісно пов'язаний зі знанням причин їх старіння і в'янення. Після зрізання рослина потрапляє в незвичайні умови. Перш за все, в результаті багатьох процесів у рослині спостерігається порушення водного режиму. Відокремлене від кореневої системи стебло з листям і квіткою, особливо при підвищених температурах, продовжує активно випаровувати воду, без відповідного заповнення її втрат ззовні. Місце зрізу або облому стебла багатьох квіткових рослин являє собою пошкоджену тканину, яка спільно з бульбашками повітря закупорює провідні судини здорової частини стебла, блокуючи надходження вологи навіть після того, як зрізані квіти поміщують у воду. Закупорювання судин стебла сприяє і швидкому розвитку у воді гнильної мікрофлори. Крім того, сік, що виділяється з судин після зрізання, піддається окисленню. При цьому утворюються шкідливі для рослини з'єднання.

У тканинах зрізаних квітів тривають всі основні процеси життєдіяльності, проте спрямованість цих процесів дещо інша, ніж у тканинах квітів, не позбавлених кореневої системи. Після зрізання пагін рослини втрачає крім води і поживних речовин, ще й інші життєво важливі елементи – гормони, вітаміни, ферменти, нестача яких і призводить до порушення обміну речовин, переважанню в ньому процесів розпаду, швидкому старінню і в'яненню квіток. При старінні квіти, як і плоди багатьох зерняткових і кісточкових культур, виробляють і виділяють газ – етилен, який, накопичуючись у приміщеннях навіть у малих кількостях, може викликати стрімке в'янення квіток. Наприклад, тисяча зрізаних квітконосних пагонів гвоздики виділяє близько 500 см³ етилену за один тиждень [4].

Як будь-який живий організм, зрізані квіти продовжують дихати, і у процесі дихання відбуваються процеси дисиміляції – розщеплення органічних речовин з витратанням запасеної в них енергії, причому органічний матеріал повністю перетворюється у кінцеві неорганічні продукти – воду і вуглекислий газ. Дихальний газообмін і зумовлений ним рівень окислювально-відновлюваних реакцій, характеризують стійкість організму до процесів старіння. Дихання визначає загальний метаболізм квітки – чим слабкіше і рівніше дихання квітів, тим довше вони зберігаються, оскільки сповільнюються відповідні обмінні реакції [5].

Тривалість життя зрізаних квітів, збереження їх декоративності або товарного вигляду знаходяться в прямій залежності від якості посадкового матеріалу, умов вирощування рослин і дотримання технології оброблення, заходів боротьби з хворобами і шкідниками. На розвиток і якість квітконосного пагона впливає безліч факторів: видові і сортові особливості рослин, інтенсивність і тривалість освітлення, температурний режим, вологість повітря і ґрунту, якість поживного субстрату і дози добрив. Так, квіти гвоздики, вирощені в літню пору при підвищених температурах повітря (вдень до 30 °C), за стійкістю у зрізаному вигляді поступаються квітам, вирощеним у зимовий час при оптимальних температурах. Збереження суцвіть зрізаних хризантем ранніх сортів, квітучих до середини жовтня, трохи нижче, ніж тих, що зацвітають у листопаді–грудні. Помічено, що тривалість життя зрізаних квітів збільшується з підвищенням інтенсивності освітлення. Так, нарциси, вирощені в березні-квітні, більш стійкі в зрізаному вигляді, ніж вирощені в лютому, коли природне освітлення оранжерей нижче.

Для кожного виду квіткової продукції характерний свій оптимальний для зрізання період дозрівання квітки. Здебільшого цей період збігається з самою ранньою стадією розвитку квітки – бутонізацією. У середині кожної культури час зрізання визначається видовими і сортовими особливостями рослин. Так, за здатністю розкриватися з бутонів

окремі сорти сильно відрізняються один від одного. Чим більше пелюсток у бутоні, наприклад, троянд, тим, відповідно, повільніше вони розкриваються. Тому, чим сильніше виражена махровість квіток, тим на більш пізній стадії дозрівання їх зрізають. Інакше квітки можуть зовсім не розкритися.

Гвоздика ремонтантна, зрізана на стадії ледь забарвленого бутона, у воді не розкривається, оскільки для подальшого зростання і розвитку квітці не вистачає енергетичного потенціалу, який може бути забезпечений лише за рахунок потрапляння поживних речовин з кореневої системи. Найбільш відповідною для зрізання стадією розвитку квітці, в гвоздики, є стадія напіврозпуску, коли зовнішні пелюстки відгинаються назовні під прямим кутом. Якщо в літній час (у період масового цвітіння) не зрізати квіти гвоздики вчасно, то через два-три дні, при відносно високій температурі повітря і хорошему природному освітленні, в теплиці починається швидке масове розкриття квіток і відбувається втрата ними товарної якості [4].

Надалі, перш ніж поміщати продукцію на зберігання, її необхідно правильно обробити після зрізання. Спочатку квіти швидко переносять до спеціальних сортувально-пакувальних приміщень з пониженою температурою (10–15 °C) і підвищеною відносною вологістю повітря (70–90 %). Тут квіти розподіляють за видовими, сортовими і товарними ознаками. Для тривалого зберігання квітконоси звільняють від нижнього і зайвого листя для того, щоб до мінімуму зменшити поверхню випаровування і небажаний контакт листя з водою або живильним розчином. Потім однорідні за якістю квіти збирають у пучки, повторно кінчики стебел підрізають під водою і поміщають у посудини з живильним розчином. Повторне підрізання під водою – обов'язкова процедура, що виключає можливість закупорювання провідних шляхів пагона повітрям, продуктами окислення, солями, бактеріями тощо. Тільки після цього зрізані квіти зможуть активно всмоктувати воду або живильний розчин і відновити тургор, а отже, і декоративність. Резервуари для квітів повинні бути чистими, з нейтрального неокислювального матеріалу [4; 6].

У практиці використовують холодне зберігання зрізаних квітів (сухе, вологе та в умовах зміненої атмосфери) та зберігання з використанням хімічних препаратів.

Зберігання квіткової продукції в умовах знижених температур найбільш поширене і доступне. Холод – один з основних компонентів технології зберігання зрізаних квітів і живців, в основу якої покладено використання властивостей низьких позитивних температур, а в багатьох випадках і близьких до 0 °C негативних – знижувати активність метаболічних перетворень у квітково-декоративній продукції під час зберігання, а також гальмувати розвиток мікробіологічних процесів.

Квіткову продукцію в умовах холоду зберігають зазвичай сухим або вологим способом. У першому випадку квіти поміщають у пакети, коробки і т. ін., тобто при зберіганні відсутній контакт квіткової продукції з рідким живильним середовищем. Таке зберігання зрізаних квітів найбільш надійне і тривале, однак вимагає постійної температури, коливання якої не повинні перевищувати ± 2 °C. У другому випадку як рідке середовище, як правило, використовують воду, в якій квіти знаходяться під час зберігання.

У разі зберігання за допомогою хімічних препаратів до складу поживних розчинів входять різні речовини, які подовжують тривалість зберігання квітці: цукрі (вуглеводи), регулятори росту, дезінфікуючі речовини, а також сполуки, що сприяють пересуванню основних поживних речовин по рослині та зменшують жорсткість води.

На зберігання закладають квіткову продукцію не нижче першого сорту за якістю, без видимих слідів хімічної обробки, механічних і мікробіологічних ушкоджень [5].

Проведення експерименту проходило в два етапи.

Перший етап. Для проведення експерименту, 8 грудня 2015 року, в день завезення квітів від виробника «Асканія Флора» (м. Бровари, Київська обл.) було куплено в роздрібній торговельній мережі м. Чернігова «Гранд Флора» 72 стебла гвоздики ремонтантної у стані

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

забарвленого бутона, якість якої відповідає вимогам сорту екстра відповідно до ГОСТ 18908.3-73 «Цветы срезанные. Гвоздика ремонтантная. Технические условия» (табл. 1) [7].

Таблиця 1

Відповідність експериментальних зразків гвоздик вимогам стандарту ГОСТ 18908.3-73 «Цветы срезанные. Гвоздика ремонтантная. Технические условия»

Показник	Характеристика і норми для товарних сортів			Фактична відповідність зразків
	екстра	першого	другого	
Зовнішній вигляд	Свіжа, чиста, з типовим для цього ботанічного сорту забарвленням і формою квітки продукція. Стебло пряме, достатньо міцне для підтримки квітки у вертикальному положенні			Свіжа, чиста, з типовим для даного ботанічного сорту забарвленням і формою квітки продукція. Стебла прямі, міцні для підтримки квітки в вертикальному положенні.
		Допускається стебло з нахилом квітки		
Довжина стебла з квіткою, см, не менше	55,0	40,0	30,0	Середня довжина 70,0±3,0
Стан квітки: при реалізації	Напіврозквітла або розквітла			У стані забарвленого бутона
Наявність шкідників	Не допускається			Не виявлено
Наявність пошкоджень шкідниками, хворобами	Не допускається			Не виявлено
Наявність видимих слідів отрутохімікатів	Не допускається			Не виявлено

Всі рослини перед розміщенням на зберігання проходили попередню обробку: листя з нижньої частини стебел повністю видалили, оскільки, занурені у воду, вони через деякий час починають загнивати, що скорочує термін життя рослин; також було зроблено підрізування стебел під водою під кутом 45°.

Для дослідження було обрано метод холодного вологого зберігання в живильних розчинах різного хімічного складу, в двох температурних режимах: +6 °С та +20 °С (табл. 2). Тара для дослідів – стерилізовані банки із Na-силікатного скла об'ємом 0,5 л.

Таблиця 2

Залежність термінів зберігання зразків зрізаної гвоздики ремонтантної від складу поживних розчинів та температурного режиму

№ п/п розчину	Склад розчину, г/л	Кількість стебел, шт.	Середній термін зберігання, днів
Температурний режим при зберіганні: +20 °С			
1	AgNO ₃ – 0,03г, C ₇ H ₆ O ₃ – 0,01г, цукор – 10г	3	17
2	AgNO ₃ – 0,03 г, цукор – 50г	3	17
3	AgNO ₃ – 1г, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ – 10%	3	17
Температурний режим при зберіганні: +6 °С			
4	C ₂ H ₅ OH (96%) - 5 г	6	121
5	AgNO ₃ – 0,03г, C ₇ H ₆ O ₃ – 0,01г, цукор – 10 г	6	54
6	AgNO ₃ – 0,03 г, цукор – 50г	6	32
7	Цукор – 15г, KCl – 0,3г, KAl(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O – 0,8г, NaCl – 0,2г	6	81
8	AgNO ₃ – 1г, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ – 10%	6	54
9	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ – 40г, KH ₂ PO ₄ – 0,08г, CH ₄ N ₂ S – 0,3г, MnSO ₄ – 0,07г, CuSO ₄ – 0,05г, MgSO ₄ – 0,35г, H ₃ BO ₃ – 0,05г, C ₆ H ₅ COOH – 0,03г, KAl(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O – 0,6г, C ₆ H ₈ O ₇ – 0,08г, HOOC-CH ₂ -CH ₂ -COOH – 0,10г, Fe ₂ (SO ₄) ₃ – 0,03г [8]	6	37
10	KMnO ₄	6	66
11	Препарат Chrysal універсальний (хімічний склад закритий)	6	106
12	Вода торгової марки Вонаqua	6	66
13	Дистильована вода зі срібною монетою	6	76
14	Дистильована вода	3	37

Контрольний зразок – дистильована вода. Як поживні розчини дослідили та використали як відомі в науковій літературі хімічні склади розчинів, так і авторські розробки (№ 4, 5, 10, 12, 13).

Дослідження асортименту квіткових роздрібних торговельних підприємств міста Чернігова показало практично відсутність хімічних препаратів для подовження життя зрізаних квітів. Магазины «Гранд Флора» пропонували в 2015 р. препарат вітчизняного виробництва «Чарівна ваза», але попередні дослідження показали його дуже низьку результативність. У магазини «Квіти для Вас» декілька разів завозили в невеликій кількості препарат Chrysal універсальний. Продукції компанії Chrysal (Нідерланди) – це спеціальний хімічний препарат для зберігання зрізаної квіткової продукції, який містить тільки необхідну кількість поживних речовин для природного розвитку квітки, без стимуляції його повного розвитку на стадії транспортування і зберігання. Стимулює споживання води і зберігає квіти і листя в оптимальних умовах. Зменшує споживання води на 50 % у порівнянні з використанням тільки води.

Результати дослідження показали, що найкращі результати при зберіганні, мали зразки гвоздики в розчині з етанолом (121 день) та хімічним препаратом Chrysal (106 днів). Це пояснюється тим, що хімічний препарат Chrysal уповільнює процеси обміну речовин у клітинах, пригнічує розвиток бактерій у воді, не спричиняючи ніякої шкоди для самої квітки. А одноатомний спирт етанол є прекрасним антисептичним засобом, який унеможливує розвиток бактерій [9].

Другий етап. За результатами дослідження, було вирішено провести зберігання гвоздики ремонтантної при кімнатній температурі (+21) у розчинах, які добре зарекомендували себе у процесі зберігання, а також у декількох нових розчинах. Для цього 20 березня 2016 року було куплено в роздрібній торговельній мережі м. Чернігова «Гранд Флора» 18 стебел гвоздики ремонтантної у стані забарвленого бутону, якість якої відповідала вимогам сорту екстра, відповідно до ГОСТ 18908.3-73 «Цветы срезанные. Гвоздика ремонтантная. Технические условия». Тара для дослідів – стерилізовані банки із Na-силікатного скла об'ємом 0,5 л. Контрольний зразок – відстояна водопровідна вода.

Результати дослідження показали, що найкращі результати у процесі зберігання мали зразки, поміщені в розчин зі срібною монетою (26 днів). Це пояснюється тим, що срібло пригнічує розвиток мікрофлори і гальмує виділення етилену (табл. 3).

Таблиця 3

Залежність термінів зберігання зразків зрізаної гвоздики ремонтантної від складу поживних розчинів при температурному режимі +21 °С

№ п/п розчину	Склад розчину, л	Кількість стебел, шт.	Середній термін зберігання, днів
1	Відстояна водопровідна вода зі срібною монетою	3	26
2	Препарат Chrysal універсальний (хімічний склад закритий)	3	20
3	Вода торгової марки Вонаqua	3	20
4	C ₂ H ₅ OH (96%) – 5,0 г	3	18
5	5% NaOCl – 0,5 мл [2]	3	15
6	Відстояна водопровідна вода	3	15

Висновки та пропозиції. Під час зберігання зрізаних квітів для ефективної протидії процесам розпаду необхідно створювати умови, які будуть гальмувати обмінні реакції або штучно підтримувати умови, які імітують нормальний обмінний процес, одночасно попереджуючи розпад органічних речовин. Впровадження у практику промислового квітництва технологій та методів збереження зрізаних квітів, значно підвищить ефективність виробництва, знизить втрати дорогої швидкопсувної продукції на всіх етапах її товаропросування від виробника до споживача, дозволить збільшити постачання населення квітами в періоди найбільшого попиту.

Результати дослідження показали, що при температурному режимі +6 °С найкращі результати у процесі зберігання показали зразки гвоздики, які були поміщені в розчин препарату Chrysal (106 днів) та розчин з етанолом (121 день). При температурному режимі +21 °С найкращі результати показали зразки гвоздики, які були поміщені в відстояну водопровідну воду зі срібною монетою (26 днів).

Список використаних джерел

1. *Аткина Л. И.* Хранение и переработка цветочной продукции [Электронный ресурс] / Л. И. Аткина, М. И. Шевлякова. – Режим доступа : http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5189/1/Atkina_Shevliakova.pdf.
2. *Применение* питательных растворов для сохранения декоративности срезанных цветов [Электронный ресурс] / И. С. Шеметова, И. И. Шеметов, А. Н. Лысенко, Ш. К. Хуснидинов. – Режим доступа : https://www.igsha.ru/science/files/140225_Konferentcia1.pdf#page=186.
3. *Chrysal International* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.chrysal.com>.
4. *Игумнов М. А.* Сохранение срезанных цветов : учебное пособие / М. А. Игумнов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 46 с.
5. *Стрельцов Б. Н.* Хранение цветов / Б. Н. Стрельцов, А. М. Рукавишников, В. А. Коротанов. – М. : Агропромиздат, 1988. – 204 с.
6. *Уход* за срезанными цветами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.chrysal.ru/Assets/Chrysal/Managed/Uploads/Contributions/the%20answers_ru_web.pdf.
7. *ГОСТ 18908.3-73* «Цветы срезанные. Гвоздика ремонтантная. Технические условия».
8. *Питательная смесь* для сохранения срезанных цветов гвоздики [Электронный ресурс] / Г. П. Богдан, С. М. Архипов, Г. И. Архипова, С. В. Запольский. – Режим доступа : <http://patents.su/3-1583064-pitatelnaya-smes-dlya-sokhraneniya-srezannykh-cvetov-gvozdiki.html>.
9. *Жабинська А. В.* Вплив хімічного складу живильних розчинів на строк вологого зберігання зрізаної гвоздики ремонтантної / А. В. Жабинська, К. О. Шевченко, І. В. Соломаха // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених : тези доповідей. – Чернівці : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. – С. 257–259.

References

1. Atkina, L.I., Shevliakova, M.I. (2016). *Khranenie i pererabotka tsvetochnoi produktsii [Storage and processing of flower production]*. Retrieved from http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5189/1/Atkina_Shevliakova.pdf.
2. Shemetova, I.S., Shemetov, I.I., Lysenko, A.N., Husnidinov, Sh.K. (2014). *Primenenie pitatelnykh rastvorov dlia sokhraneniia dekorativnosti srezannykh tsvetov [The use of nutrient solutions to preserve cut flowers decoration]*. Retrieved from https://www.igsha.ru/science/files/140225_Konferentcia1.pdf#page=186.
3. *Chrysal International*. Retrieved from: <http://www.chrysal.com>.
4. Igumnov M.A. (1990). *Sokhranenie srezannykh tsvetov [Preservation of cut flowers]*. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
5. Streltsov, B.N. (1988). *Khranenie tsvetov [Keeping flowers]*. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
6. *Ukhod za srezannymi tsvetami [Care for cut flowers]*. Retrieved from http://www.chrysal.ru/Assets/Chrysal/Managed/Uploads/Contributions/the%20answers_ru_web.pdf.
7. *GOST 18908.3-73* «Tsvety srezannye. Gvozdika remontantnaia. Tekhnicheskie usloviia» [GOST 18908.3-73 “Cut flowers. Carnation remontant. Specifications”].
8. Bogdan, G.P., Arkhipov, S.M., Arkhipova, G.I., Zapolskii, S.V. *Pitatelnaiia smes dlia sokhraneniia srezannykh tsvetov gvozdiki [Nutrient mixture for preserving cut flowers carnation]*. Retrieved from <http://patents.su/3-1583064-pitatelnaya-smes-dlya-sokhraneniya-srezannykh-cvetov-gvozdiki.html>.
9. Zhabynska, A.V., Shevchenko, K.O., Solomaha, I.V. (2016). *Vplyv khimichnogo skladu zhyvylnykh rozchyniv na strok volohoho zberihannia zrizanoi hvozdyky remontantnoi [The influence of the chemical composition of the nutrient solution for a period of wet storage truncated cloves remontant]*. Proceeding from *Novitni tehnolohii u naukovii diialnosti i navchalnomu protsesi* :

Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh – New technologies in scientific activities and learning process: National Scientific Conference of Students and Young Scientists. Chernihiv: ChNTU, pp. 257–259 (in Ukrainian).

Соломаха Ірина Володимирівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства, експертизи, митної справи та торгівлі, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Соломаха Ірина Владимировна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры товароведения, экспертизы, таможенного дела и торговли, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Solomakha Iryna – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Commodity, Examination, Customs and Trade, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: iveria60@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0106-6410>

Жабинська Альона Валентинівна – студентка магістратури кафедри товарознавства, експертизи, митної справи та торгівлі, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Жабинская Алёна Валентиновна – студентка магистратуры кафедры товароведения, экспертизы, таможенного дела и торговли, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Zhabynska Aliona – Master Student of the Department of Commodity, Examination, Customs and Trade, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: aly-zhabinskaya@yandex.ua

Шевченко Катерина Олександрівна – студентка магістратури кафедри товарознавства, експертизи, митної справи та торгівлі, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Шевченко Екатерина Александровна – студентка магистратуры кафедры товароведения, экспертизы, таможенного дела и торговли, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Shevchenko Kateryna – Master Student of the Department of Commodity, Examination, Customs and Trade, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: rin.shew4enko@yandex.ua

*Діна Федорова***ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СУХИХ РИБО-РОСЛИННИХ НАПІВФАБРИКАТІВ***Діна Федорова***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СУХИХ РЫБО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ***Dina Fedorova***PHYSICOCHEMICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF DRY FISH&PLANT SEMI-PRODUCT QUALITY**

Досліджено фізико-хімічні та біохімічні показники якості сухих рибо-рослинних напівфабрикатів для комбінованих харчових продуктів на основі бичка азовського та суміші рослинних інгредієнтів. Наведені результати досліджень підтверджують високі споживні властивості рибо-рослинних напівфабрикатів та свідчать про високий вміст у них повноцінних білків, мінеральних елементів, зокрема Кальцію. Результати досліджень фізико-хімічних показників напівфабрикатів свідчать про їх високу технологічну придатність для використання у виробництві борошняних виробів, харчових концентратів, які потребують відновлення. Науково обґрунтовано переваги нового підходу застосування розроблених напівфабрикатів у виробництві широкого спектра харчових продуктів, що дозволить моделювати біологічну цінність білкової складової цільового продукту та розширити асортимент доступної у сегменті масового і соціального харчування білоквмісної продукції, покращити забезпечення населення України рибними продуктами.

Ключові слова: фізико-хімічні показники, біохімічні показники якості, бичок азовський, рибо-рослинні напівфабрикати, мінеральний склад, Кальцій.

Табл.: 3. Бібл.: 10.

Исследованы физико-химические и биохимические показатели качества сухих рыбо-растительных полуфабрикатов для комбинированных пищевых продуктов на основе бычка азовского и смеси растительных ингредиентов. Приведенные результаты исследований подтверждают высокие потребительские свойства рыбо-растительных полуфабрикатов и свидетельствуют о высоком содержании в них полноценных белков, минеральных элементов, в частности Кальция. Результаты исследований физико-химических показателей полуфабрикатов свидетельствуют об их высокой технологической пригодности для использования в производстве мучных изделий, пищевых концентратов, которые нуждаются в восстановлении. Научно обоснованы преимущества нового подхода применения разработанных полуфабрикатов в производстве широкого спектра пищевых продуктов, что позволит моделировать биологическую ценность белковой составляющей целевого продукта и расширить ассортимент доступной в сегменте массового и социального питания белоксодержащей продукции, улучшить обеспечение населения Украины рыбными продуктами.

Ключевые слова: физико-химические показатели, биохимические показатели качества, бычок азовский, рыбо-растительные полуфабрикаты, минеральный состав, Кальций.

Табл.: 3. Библ.: 10.

Physicochemical and biochemical parameters of dry fish&plant semi-products quality based on Azov goby and a mixture of plant ingredients has been studied in this article. These results confirm the high consumer properties of fish&plant semi-products and indicate a high content of valuable protein, mineral elements, especially Calcium. The research results of physicochemical parameters of semi-products indicate their high technological suitability for use in bakery products, food concentrates that need restoration. Scientifically proved benefits of the new approach application of the developed semi-products in producing a wide range of food that will model the biological value of the protein component of target product and extend the range of available social catering segment of protein food products, improve the maintenance of the population Ukraine in fish products.

Key words: physicochemical parameters, biochemical indicators of quality, Azov goby, fish& plant semi-products, mineral composition, Calcium.

Tabl.: 3. Bibl.: 10.

Постановка проблеми. Важливими завданнями продовольчої безпеки країни є забезпечення усіх верств населення доступними харчовими продуктами з достатнім вмістом біологічно цінних нутрієнтів, зокрема повноцінних білків. Відомо, що з харчових речовин, необхідних для задоволення фізіологічних потреб організму людини, найціннішим є білок. Недостатнє споживання або тривале надходження білків низької біологічної цінності призводить до їх дефіциту, що викликає порушення функцій печінки, підшлункової залози, кровотворних органів, сприяє зниженню маси тіла, імунітету, сповільненню росту всього організму. Необхідність забезпечення населення біологічно цінними харчовими продуктами сприяє пошуку та вивченню джерел повноцінного біл-

ка, що є першочерговим завданням науковців і фахівців харчової промисловості. Вирішенню цієї проблеми присвячені роботи І. А. Рогова, Л. В. Антипової, Т. К. Лебської, В. Н. Пасічного, Т. М. Сафронової, О. В. Сидоренко та ін.

Перспективним напрямом створення білоквісних продуктів нового покоління є цільове комбінування рослинної сировини та гідробіонтів, які характеризуються високою поживною цінністю, наявністю легкозасвоюваних повноцінних білків зі збалансованим амінокислотним складом. Таким чином, актуальним є подальше вдосконалення технологій і властивостей оздоровчих продуктів харчування на основі рибної та рослинної сировини, зокрема сухих поліфункціональних напівфабрикатів тривалого зберігання, які можуть використовуватись у технологіях широкого асортименту кулінарної продукції, хлібобулочних виробів як білково-мінеральні збагачувачі, а також як основний компонент у технологіях снекової продукції, концентратів соусів, сухих сніданків, концентратів обідньої продукції, сухих формованих продуктів спеціального призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливого значення для продовольчої безпеки країни набувають технології комплексного та маловідходного перероблення доступної рибної сировини, передусім дрібного бичка азовського, який на сьогодні є одним із найчисельніших і доступних за ціною об'єктів морського рибного промислу в Україні. Бичок азовський є джерелом повноцінного і легкозасвоюваного білка, а його кісткові тканини – біодоступного Кальцію, що визначає доцільність комплексного перероблення для виробництва харчової продукції та рибо-рослинних напівфабрикатів у сегменті масового і соціального харчування [1]. Впровадження ресурсозберігаючих технологій, за одночасного зменшення залежності від кон'юнктури зовнішнього ринку, дозволить скоротити відходи, більш раціонально використовувати вітчизняні рибні ресурси, знизити собівартість та підвищувати ефективність виробництва рибної продукції. Потребують подальшого вирішення проблеми створення збалансованої продукції швидкого приготування та напівфабрикатів високого ступеня готовності в умовах активно зростаючого попиту, обумовленого інтенсифікацією праці та демографічними процесами, особливими потребами окремих контингентів населення (туристів і подорожуючих різними видами транспорту, військовослужбовців, шахтарів, офісних працівників, утриманців соціальних закладів, де неможливо створити повний цикл виробництва кулінарної продукції). Їх вирішення розглядається можливим у площині створення технологій сухих поліфункціональних рибо-рослинних напівфабрикатів на принципах комплексності перероблення та енергоефективності.

Значний внесок у вирішення фундаментальних питань створення технологій сухих продуктів з рослинної та рибної сировини надали дослідження таких учених, як Л. С. Абрамова [2], Л. В. Антипова [3], Г. І. Касьянов [4], Bonazzi С. [5], Н. Hayashi [6] та ін. Багато з них продовжують досліджувати цю проблему, оскільки вона не втратила своєї актуальності і сьогодні. Відомі технології сухих рибо-рослинних продуктів [7; 8], на наш погляд, мають деякі недоліки, пов'язані з тим, що не враховують біодоступність рибного білка, що вводиться. Крім того, застосування цукрової пудри і цукромісткої рослинної сировини під час виробництва розроблених сухих продуктів може негативно впливати на їх органолептичні характеристики і процес травлення у шлунково-кишковому тракті людини. Меланоїдини знижують біологічну цінність виробів, оскільки знижується засвоюваність амінокислот через те, що цукроамінні комплекси не піддаються гідролізу ферментами травного тракту.

Відома «Крупка рибна варено-сушена (напівфабрикат)» (ТУ 15-01 349-79), яка містить варено-сушений фарш з м'язової тканини низькожирної рибної сировини (минтай, навага, тріска, ставрида, хек, камбала) [9]. Таке технічне рішення вибране нами як прототип. Недоліком цього продукту є нераціональне використання рибної сировини, яке

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

передбачає до 70 % (кістки, шкіра, плавці, нутрощі) рибних відходів з вмістом цінних білкових нутрієнтів та мінеральних елементів, зокрема Кальцію; невисокий вміст мінеральних елементів, невисокі технологічні властивості (невисокі гідратаційні властивості, ускладнене дозування, складність застосування у виробництві харчової продукції (кулінарних формованих виробів із січеної маси, паштетних масах, борошняних кондитерських і хлібобулочних виробів) через великий розмір часток (діаметр 1,5–4 мм).

Враховуючи вищенаведене, актуальним є створення композиції сухого білково-мінерального напівфабрикату, яка б містила амінокислоти та мінеральні компоненти у співвідношенні, оптимальному для засвоєння організмом людини, при високих функціонально-технологічних властивостях (високі гідратаційні властивості) і здатності до зберігання, при мінімальній залежності від сезонних коливань, пов'язаних із порами року, та врожайністю рослинних культур і видобутком водних біоресурсів; придатної для створення запасу продовольчого резерву; а також раціонального використання рибної сировини з доступних джерел вітчизняної сировинної бази.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження фізико-хімічних і біохімічних показників якості розробленого асортименту сухих рибо-рослинних напівфабрикатів.

Виклад основного матеріалу. За останні роки спостерігається збільшення промислового вилову риби у внутрішніх водоймах та Азово-Чорноморському басейні. Азово-чорноморські бички є найважливішими промисловими об'єктами, що складають значну частку в обсягах видобутку Азово-Чорноморського басейну. В теперішній час в Україні здійснюється активний видобуток бичка – більше 10 тис. т щорічно, що становить більше 15 % загального вітчизняного видобутку риби. У загальній структурі вилову водних біоресурсів у 2015 р. лідирує бичок – 15,65 тис. т, що становить 17,6 % загального видобутку водних біоресурсів і 21,1 від загального видобутку риби. Крім того, цей вид риби є одним з найбільш доступних видів рибної сировини на вітчизняному ринку, середня ціна якої становила 5176,3 грн за т [10]. За останні 2 роки видобуток бичка азовського збільшився на 30 %, що визначає перспективність використання цієї сировини на принципах ресурсозбереження для забезпечення сталого рівня продовольчої безпеки країни, зниження рівня імпортозалежності та раціонального використання вітчизняної сировинної бази, виробництва доступної продукції із повноцінними і легкозасвоюваними білками, створення запасу продовольчого резерву.

Завданням наукової розробки є створення поліфункціональних сухих білково-мінеральних напівфабрикатів на основі маловідходного перероблення бичка азовського (обезголовленого патраного) та суміші рослинних інгредієнтів, розширити асортимент поліфункціональних напівфабрикатів підвищеної поживної та біологічної цінності, збільшити вміст у них легкозасвоюваних білків та мінеральних елементів, зокрема Кальцію, харчових волокон, забезпечити їх технологічну якість (високі гідратаційні властивості та дрібнодисперсність), розширити напрями раціонального використання вітчизняної рибної сировини – дрібного бичка азовського.

За результатами комплексу проведених досліджень розроблено інгредієнтний склад сухих концентрованих продуктів поліфункціонального призначення на основі риборослинних харчових композицій з детермінованим комплексом показників поживної цінності. Розроблені продукти являють собою висушені фарші (вологовміст 10–12 %) з попередньо термообробленої рибної сировини з використанням збагачувальних сумішей. Сировиною для проектування збагачувальних сумішей обрано пшеничні, вівсяні і житні висівки, ламінарію, шроти з насіння льону, соняшника, паста з гідратованих ядер насіння соняшника, спеції. Застосування запропонованої технології маловідходного перероблення бичка азовського дозволяє скоротити втрати рибної сировини (відходи за такою технологією не перевищують 45 %).

Поставлене завдання вирішується тим, що у виробництві поліфункціональних сухих рибо-рослинних напівфабрикатів використовується гіротермічно-оброблений, висушений і подрібнений фарш з комплексу м'язової, кісткової та сполучної (шкіра) тканин низькожирної рибної сировини (цілої обезголовленої патраної риби – бичка азовського (сирець, охолоджений, морожений), а також рослинний компонент у кількості 18,0–30,0 мас. %. Як рослинний компонент напівфабрикатів використовують один або суміш рослинних інгредієнтів: продукти переробки зернових (висівки вівсяні, пшеничні або житні) або олійних культур (шроти льону, соняшника), пасту з гідратованих ядер насіння соняшника, ламінарію (табл. 1). Як пасту з гідратованих ядер насіння соняшника використовують пасту з гідратованих у співвідношенні 1:3 і гіротермічно оброблених ядер насіння соняшника.

Таблиця 1

Рецептурний склад сухих рибо-рослинних напівфабрикатів, на 100 г

Найменування сировини	Композиція за прикладом, мас. %			
	1	2	3	4
Фарш з гіротермічно обробленої цілої обезголовленої патраної риби	82,0	92,0	84,0	78,0
Висівки вівсяні, пшеничні або житні	18,0	-	-	11,0
Шрот з насіння льону	-	8,0	-	-
Шрот з насіння соняшника	-	-	16,0	-
Паста з гідратованих ядер насіння соняшника	-	-	-	9,0
Ламінарія	-	-	-	2,0

Зазначена композиція придатна як добавка до м'ясних і рибних комбінованих кулінарних виробів (ліверні, кров'яні, варені ковбаси, фарші, сосиски, сардельки, пельмені, вареники тощо), кондитерських (печиво, вафлі, снеки, тощо), хлібобулочних виробів, харчових концентратів (супи, каші, млинці, оладки, сухі раціони спеціального призначення – сухі формовані вироби тощо).

Відповідно до винаходу, запропонований напівфабрикат має середній розмір часточок $0,50 \pm 0,02$ мм, що спрощує технологію його використання у різних технологічних об'єктах, а зменшена об'ємна маса (з 512 до 372 кг/м³) дозволяє скоротити площі складських приміщень для довготривалого зберігання цієї продукції (від 8 місяців до 1,5 року) (табл. 2).

Завдяки додаванню рослинних компонентів покращуються гідратаційні властивості поліфункціональних сухих рибо-рослинних напівфабрикатів (збільшується показник водопоглинання), що дозволить регульовано покращувати структурно-механічні показники харчових систем з їх вмістом (табл. 2). Результати досліджень фізико-хімічних показників сухих рибо-рослинних напівфабрикатів на основі бичка азовського свідчать про їх високу технологічну придатність для використання у виробництві борошняних кулінарних і кондитерських виробів, харчових концентратів, які потребують відновлення.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники поліфункціональних сухих рибо-рослинних напівфабрикатів на основі бичка азовського, ($\bar{X} \pm m$), ($T = 20 \dots 25$ °C)

Найменування показника	Прототип*	Композиція за прикладом			
		1	2	3	4
Масова частка вологи, %	9,0–10,0	$8,2 \pm 2$	$8,8 \pm 2$	$9,0 \pm 2$	$10,5 \pm 2$
Об'ємна маса, кг/м ³	449–512	372 ± 12	370 ± 10	370 ± 12	388 ± 16
Середній лінійний діаметр часток, мм	1,5–4,0	$0,50 \pm 0,02$	$0,50 \pm 0,02$	$0,50 \pm 0,02$	$0,50 \pm 0,02$
Показник водопоглинання, од.	4,0	$4,3 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,2$	$4,3 \pm 0,2$

Примітка: * – згідно з нормативним документом (ТУ 15-01 349-79).

Біохімічний склад розроблених рибо-рослинних напівфабрикатів на основі бичка азовського наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Біохімічний склад поліфункціональних сухих рибо-рослинних напівфабрикатів на основі бичка азовського, на 100 г ($\bar{X} \pm m$)

Найменування показника	Прототип*	Композиція за прикладом			
		1	2	3	4
Волога, %	10,3±2	9,2 ± 2,1	9,8 ± 1,9	9,0 ± 2,1	10,5 ± 2,3
Білки, %	79,2±1,8	63,2±1,4	70,2±1,4	66,2±1,5	71,2±1,4
Ліпіди, %	2,4±0,1	2,6±0,1	3,7±0,2	3,0±0,2	5,9±0,4
Харчові волокна, г	-	13,2±2,5	4,2±1,1	9,2±2,3	9,4±2,3
Мінеральні елементи:					
Кальцій, мг	318,6 ± 16,5	3865±163	3390±146	3655±172	2371±102
Калій, мг	282,8 ± 14,5	295,6±9,1	309,8±10,9	302,4±7,6	334,2±14,2
Фосфор, мг	189,0 ± 13,8	196,0±9,2	197,0±9,0	226,0±11,2	643,4±23,7
Магній, мг	123,3±21,1	212,7±10,1	172,0±7,3	229,1±7,1	327,4±10,1
Ферум, мг	2,7 ± 0,4	3,89±0,78	3,89±0,78	3,89±0,78	6,7 ± 0,4
Цинк, мг	0,7 ± 0,3	1,14±0,23	1,09±0,23	1,10±0,23	3,7 ± 0,3
Йод, мкг	-	0,71 ± 0,02	-	0,52 ± 0,01	195,4 ± 6,3

Примітка: * – за прототип прийнято крупку з варено-сушеного фаршу з філе хека.

Дані табл. 3 свідчать про високий вміст білкових речовин у розроблених рибо-рослинних напівфабрикатах, що дозволяє розглядати ці продукти як джерела білків для збагачення ними інших, дефіцитних за повноцінними білками, харчових продуктів.

За результатами проведених досліджень (табл. 3) встановлено високий вміст Кальцію, Калію, Фосфору та Магнію в розроблених прикладах рибо-рослинних напівфабрикатів. Додавання 10 % сухих напівфабрикатів у «цільові» харчові системи (з низьким вмістом Кальцію) дасть змогу забезпечити більше 30 % добової потреби Кальцію у них, більше 50 % – у Магнію та до 10 % – у Йоді (приклад 4).

Використання пшеничних, вівсяних, житніх висівок, пасти з насіння соняшника, шротів з олійних культур (насіння льону, соняшника) сприятиме підвищенню у запропонованих напівфабрикатах вмісту розчинних і нерозчинних харчових волокон та інших біологічно активних сполук. Вміст харчових волокон у розроблених напівфабрикатах становить 15,2; 4,2; 9,2 та 7,4 г на 100 г відповідно у прикладах 1–4, що дає змогу забезпечити 60; 16,8; 36,8 та 29,6 % добової потреби у них (приклади 1–4 відповідно) (табл. 3). Це сприятиме формуванню оздоровчих властивостей розроблених продуктів, зокрема, пребіотичних, нормалізації холестеринового обміну, детоксикації організму від шкідливих впливів ксенобіотиків та ендотоксикантів.

Висновки та пропозиції. Запропоноване співвідношення рецептурних інгредієнтів дозволить отримати поліфункціональні сухі рибо-рослинні напівфабрикати з підвищеним вмістом мінеральних елементів, зокрема Кальцію, Магнію, Йоду, харчових волокон, з новими смаковими властивостями, покращеними якісними характеристиками, що дозволить більш раціонально використовувати вітчизняну дрібну рибну сировину (бичка азовського), маловживану у виробництві кулінарної і кондитерської продукції, а також дозволить моделювати біологічну цінність білкової складової цільового продукту з використанням поліфункціональних сухих рибо-рослинних напівфабрикатів та розширити асортимент доступної у сегменті масового і соціального харчування білоквмісної кулінарної, кондитерської, снекової продукції, концентратів обідньої продукції, зокрема спеціального призначення, покращити забезпечення населення України рибними продуктами, повноцінним білком та біодоступним Кальцієм, підвищити продовольчу безпеку країни.

Список використаних джерел

1. Федорова Д. Біологічна цінність рибо-рослинних напівфабрикатів на основі комплексного перероблення бичка азовського / Д. Федорова, Ю. Кузьменко // Товари і ринки. – 2015. – № 2. – С. 85–97.
2. Абрамова Л. С. Обоснование технологии поликомпонентных продуктов питания с задаваемой структурой и комплексом показателей пищевой адекватности на основе рыбного сырья : автореф. ... дис. д-ра техн. наук / Л. С. Абрамова. – Калининград, 2003. – 53 с.
3. Антипова Л. В. Функциональные продукты на основе рыбного фарша и овощей / Л. В. Антипова, В. В. Батищев, И. Н. Толпыгина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2003. – № 1. – С. 32–34.
4. Сушка сырья и производство сухих завтраков / Г. И. Касьянов, Г. В. Семенов, В. А. Грицких, Т. Л. Троянова. – М. : Март, 2004. – 160 с.
5. Bonazzi, C., Dumoulin, E., Raoult-Wack, A., Berk, Z., Bimbenet, J.J., Courtois, F., Trystram, G., Vasseur, J. Food drying and dewatering / C. Bonazzi, E. Dumoulin, A. Raoult-Wack, Z. Berk, J.J. Bimbenet, F. Courtois, G. Trystram, J. Vasseur // *Drying Technol.* – 1996. – Vol. 14 (9). – Pp. 2135–2170.
6. Hayashi, H. Drying technologies of foods – their history and future / H. Hayashi // *Drying Technol.* – 1989. – Vol. 7 (2). – Pp. 315–369.
7. Пат. 2279815 РФ, МПК А 23 L 1/29. Способ производства сухого продукта питания для детей школьного возраста / Г. И. Касьянов, С. В. Мысак, Т. Н. Эксюзьян, И. В. Максютя, О. И. Квасенков. – заявл. 07.06.2004; опубл. 20.07.06, Бюл. №11.
8. Пат. 2268618 РФ, МПК А 23 L 1/29. Способ производства композиции для геродиетического питания / О. И. Квасенков, Г. И. Касьянов, К. А. Кирий. – заявл. 31.01.2003; опубл. 27.01.2006, Бюл. №7.
9. ТУ 15-01 349-79. Крупка рибна варено-сушена (напівфабрикат). – Чинний від 20.07.79. – 19 с.
10. Добування водних біоресурсів за 2015 рік : статистичний бюлетень [Електронний ресурс]. – К., 2016. – Режим доступу : http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm.

References

1. Fedorova, D., Kuzmenko, Yu. (2015). Biologichna tsinnist rybo-roslynnykh napivfabrykativ na osnovi kompleksnoho pereroblennia bychka azovskoho [Biological value of fish & plant semifinished products based on Azov goby]. *Tovary i rynky – Commodities and Markets*, no. 2, pp. 85–97 (in Ukrainian).
2. Abramova, L.S. (2003). Obosnovanie tekhnologii polikomponentnykh produktov pitaniia s zadavaemoi strukturoi i kompleksom pokazatelei pishchevoi adekvatnosti na osnove rybnogo syria [Justification multicomponent food technology with defined structure and a set of indicators of food adequacy on the basis of raw fish]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kaliningrad (in Russian).
3. Antipova, L.V., Batishchev, V.V., Tolpygina, I.N. (2003). Funktsionalnye produkty na osnove rybnogo farsha i ovoshchei [Functional products based on minced fish and vegetables]. *Izvestiia vuzov. Pishchevaia tekhnologiya – Proceedings of the universities. Food Technology*, no. 1, pp. 32–34 (in Russian).
4. Kasianov, G.I., Semenov, G.V., Gritckikh, V.A., Troianova, T.L. (2004). *Sushka syria i proizvodstvo sukhikh zavtrakov [Drying of raw materials and the production of breakfast cereals]*. Moscow: Mart (in Russian).
5. Bonazzi, C., Dumoulin, E., Raoult-Wack, A., Berk, Z., Bimbenet, J.J., Courtois, F. et al. (1996). Food drying and dewatering. *Drying Technol.*, vol. 14 (9), pp. 2135–2170.
6. Hayashi, H. (1989). Drying technologies of foods – their history and future. *Drying Technol.*, vol. 7 (2), pp. 315–369.
7. Kasianov G.I., Mysak S.V., Eksuzian T.N., Maksyuta I.V., Kvasenkov O.I. (2006). *Sposob proizvodstva sukhogo produkta pitaniia dlia detei shkolnogo vozrasta [A method of production of dry food for school children]*. Patent RF No. 2279815.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Kvasenkov, O.I., Kasianov, G.I., Kirii, K.A. (2006). *Sposob proizvodstva kompozitsii dlia gerodieticheskogo pitaniia [Process for producing a composition for gerodietary food]*. Patent RF No. 2268618.

9. TU 15-01 349-79. Krupka rybna vareno-sushena (napivfabrykat) [Groats fish cooked dried (semi-finished)].

10. *Dobuvannia vodnykh bioresursiv za 2015 rik : statystychnyi biuleten [Getting water bioresources for 2015: Statistical Bulletin]*. Retrieved from http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm.

Федорова Діна Володимирівна – кандидат технічних наук, докторант, доцент кафедри технології та організації ресторанного господарства, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

Федорова Діна Владимировна – кандидат технических наук, докторант, доцент кафедры технологии и организации ресторанного хозяйства, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

Fedorova Dina – PhD in Technical Sciences, Doctoral, Associate Professor of Department of Technology and restaurant service, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

E-mail: dina_fedorova@ukr.net

УДК 664

*Виктория Челябинева, Мария Гаврик, Алёна Литвиненко***О БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФРУКТОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ
В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ***Вікторія Челябієва, Марія Гаврик, Олена Литвиненко***ПРО БЕЗПЕКУ ВИКОРИСТАННЯ ФРУКТОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ
У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ***Viktoriia Cheliabiieva, Maryia Havryk, Alena Lytvynenko***SAFETY USE OF FRUIT AND BERRIES IN FOOD PRODUCTION**

Представлены данные о характере накопления эссенциальных и токсических макро- и микроэлементов в яблоках, бананах, черной смородине. Проанализировано использование порошков, жома, пюре из фруктов и ягод в технологии продуктов питания.

Показано, что использование фруктово-ягодного сырья как источника необходимых пищевых компонентов – пектина, макро- и микроэлементов, полифенолов, витаминов – перспективное направление в разработке оздоровительных продуктов питания, однако должно сопровождаться жестким контролем безопасности сырья.

Ключевые слова: эссенциальные макро- и микроэлементы, фруктово-ягодное сырье, токсические микроэлементы, пектины.

Табл.: 1. Библ.: 11.

Представлено дані про характер накопичення есенціальних і токсичних макро- і мікроелементів у яблуках, бананах, смородині. Проаналізовано використання порошків, жому, пюре з фруктів і ягід у технології продуктів харчування.

Показано, що використання фруктово-ягідної сировини як джерела необхідних харчових компонентів - пектину, макро- і мікроелементів, поліфенолів, вітамінів – перспективний напрямок у розробленні продуктів харчування, однак повинно супроводжуватись жорстким контролем безпеки сировини.

Ключові слова: есенціальні макро- і мікроелементи, фруктово-ягідна сировина, токсичні мікроелементи, пектини.

Табл.: 1. Бібл.: 11.

The article presents data on the content and nature of the accumulation of toxic and essential macro- and micronutrients in apples, bananas, black currant. We evaluate the use of powders and extracts from fruits and berries in the production of health products. Selection of research subjects is due to nutritional value, palatability, affordability.

Adding fruits and berries in the bread, dairy products, and drinks can not only expand the range of products but also can to improve product quality, to ensure delivery of micronutrients with the products of mass consumption without increasing calories. However, it is necessary to monitor the safety of raw materials.

Key words: essential macro and trace minerals, fruit and berry raw materials, toxic minerals, pectin.

Табл.: 1. Бібл.: 11.

Постановка проблемы. Продукты питания – важный фактор в формировании здоровья и генофонда человека. Однако большинство современных пищевых продуктов массового потребления обладают низкой биологической ценностью. Это обусловлено неудовлетворительным экологическим состоянием окружающей среды, использованием пленочных покрытий, минеральных удобрений и химических средств борьбы с сорняками и вредителями в сельском хозяйстве; использованием традиционных технологий производства продуктов питания, которые включают рафинирование сырья; применением синтетических пищевых добавок. Поиск путей обогащения пищи витаминами, незаменимыми аминокислотами, пищевыми волокнами, эссенциальными макро- и микроэлементами, другими жизненно необходимыми составляющими – цель, которую ставят перед собой ведущие производители продуктов питания во всех странах.

Анализ последних исследований и публикаций. Проведенные в этом направлении исследования показывают перспективность использования фруктово-ягодных добавок при разработке пищевых продуктов повышенной биологической ценности как источника моно- и дисахаридов, в первую очередь фруктозы, витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, включая пектин и др. [1].

Использование порошков из переработанного растительного сырья, например, яблочного жома в технологиях мучных кондитерских изделий, кроме повышения пищевой ценности изделия, способствует повышению качества: увеличивается пористость,

удельный выход изделий, улучшаются вкусовые свойства, уменьшаются расходы сырья. Доказано [2], что применение фруктовых порошков при изготовлении кондитерских изделий способствует уменьшению содержания муки в изделии на 15–30 % (в зависимости от вида изделия: печенье, кекс и т. п.), сахара-песка – на 10–25 %, сливочного масла – на 10-15%, крахмала картофельного – на 40 %. В свою очередь, за счет введения растительного порошка, достигается увеличение клетчатки в 2–30 раз (в зависимости от того, порошок из каких фруктов был использован), минеральных веществ – в 1,5–2 раза, снижение калорийности изделия на 2–12 % (в зависимости от вида кондитерского изделия).

Авторами [3] использован для производства бисквитного полуфабриката пектинсодержащий порошок айвы и яблок, массовая часть порошка составляла 10 %. Его добавление существенно увеличило содержание пектина в продукте, которое еще больше возросло при повышении дозы порошка до 20 %.

Оценено [4] влияние растительного сырья (из облепихи, яблок) на свойства теста для сахарного печенья и качество готового продукта. Установлено, что введение композиционной смеси из растительного сырья в количестве 7–10 % повышает пластичность теста, улучшает физико-химические показатели готового печенья и положительно влияет на сохранение его свежести, повышение пищевой ценности, а также способствует экономии основного сырья.

Перспективным направлением в создании молочных продуктов является комбинирование белково-углеводного молочного сырья (сыворотки, обезжиренного молока, пахты) и растительного сырья [5]. Комбинирование путем добавления к молочным коктейлям плодово-ягодного сырья позволяет получить напитки с приятными вкусовыми оттенками, способствует расширению их ассортимента, повышению пищевой ценности за счет биологически активных веществ продуктов растительного происхождения. Благодаря особенностям химического состава, плодово-ягодное сырье способствует не только обогащению вкуса и цвета молочных коктейлей, но и участвует в формировании пенных структур, что обусловлено содержанием пектиновых веществ.

Разработаны [6] технология и рецептуры напитков на основе молочной сыворотки для оздоровительного питания. Рецептуры отличались массовой долей молочной сыворотки (соответственно 50 %, 55 %, 60 %) и массовой долей введенного мелкодисперсного замороженного пюре из тыквы (соответственно 7 %, 10 %, 12 %), яблок (соответственно 8 %, 8 %, 10 %), абрикос (10 %, 7 %, 10 %). Показано, что по химическому составу новые тонизирующие напитки на основе молочной сыворотки с использованием мелкодисперсных замороженных пюре находятся на уровне лучших зарубежных аналогов. Так, в 100 г напитка содержится 1,0-1,3 г полноценного белка; 32,5-39,5 мг витамина С; 3,9-4,5 мг бета-каротина. Также в полученных напитках содержится значительное количество Р-активных веществ, например, фенольных соединений (по хлорогеновой кислоте) – 101,3-106,7 мг в 100 г; флавоноловых гликозидов (по рутину) – 49,8-50,5 мг в 100 г; дубильных веществ (по танину) – 57,8-67,9 мг в 100 г, что выше суточной потребности Р-активных веществ.

Среди пищевых продуктов выделяются молочно-растительные десерты, которые пользуются большим спросом у населения всех стран мира. Благодаря большому разнообразию основного и дополнительного сырья, а также особенностям технологического процесса, сформировался широкий ассортимент творожных десертов. Это позволяет удовлетворять самые разнообразные вкусы и запросы потребителей. Творожные десерты относятся к высококалорийным продуктам, которые отличаются низким содержанием биологически активных веществ. В связи с этим актуальным является разра-

ботка низкокалорийных видов творожных десертов с наполнителями из растительного сырья с высоким содержанием биологически активных веществ.

Перспективным направлением является использование традиционного фруктово-ягодного сырья для получения криопродуктов. Показано [7], что криопродукты из ягод смородины проявляют антиоксидантное действие.

Научно обоснована и разработана инновационная технология новых видов плодово-ягодного мороженого и замороженных мелкодисперсных добавок в форме наноструктурированного пюре из растительного сырья (яблок и бананов) [8].

Таким образом, производство криопродуктов из фруктов и ягод, обогащение хлебо-булочных, кондитерских, кисломолочных изделий, напитков фруктово-ягодным сырьем, повышает их пищевую ценность, позволяет расширить ассортимент и улучшить качество продукции, обеспечить поступление микронутриентов с продуктами массового потребления без увеличения калорийности продукта.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Однако в исследовательских работах не акцентируется внимание на необходимости контроля безопасности фруктов и ягод, используемых для обогащения пищевых продуктов.

Цель статьи. Главная цель представленной работы – исследовать содержание, характер распределения, условия накопления жизненно необходимых и токсических микроэлементов в яблоках, черной смородине, бананах; оценить перспективность использования продуктов их переработки в рецептурах пищевых производств для повышения биологической ценности продуктов питания.

Изложение основного материала. Выбор объектов исследования обусловлен пищевой ценностью, ценовой доступностью и популярностью этих плодов и ягод [7; 9].

Яблоки содержат сбалансированный состав полезных веществ, таких как клетчатка, органические кислоты, пектины, витамины и минералы. Пектины выполняют роль детоксикантов, клетчатка нормализует работу кишечника, органические кислоты укрепляют сосуды и предупреждают образование оксалатных камней. Смородина черная [7] богата клетчаткой, бета-каротином, витамином С (для суточной нормы человеку нужно съесть всего 20 ягод), пектиновыми веществами, фосфором, триптофаном, из которого в организме синтезируется серотонин. Яблоки и смородина содержат большое количество флавоноидов и полифенолов – антиоксидантов, влияющих на окислительные процессы в организме человека. Антиоксиданты уменьшают содержание свободных радикалов, ускоряющих окислительные процессы и старение организма. Бананы богаты белком, витамином В6, содержат триптофан [10].

В исследуемых фруктах и ягодах определяли характер распределения и содержание следующих элементов: железа, кадмия, кальция, магния, меди, свинца, цинка.

Подготовка проб фруктов и ягод для анализа включала взятие навески (масса навески 1,5 г), сушку навески, мокрую (с использованием азотной кислоты и перекиси водорода), а затем сухую минерализацию в двухкамерной программируемой печи. Подготовку пробы считали завершенной при получения однородной золы белого, серого или рыжеватого цвета.

Для определения содержания цинка, меди, свинца и кадмия применяли метод инверсионной вольтамперометрии, используя анализатор типа TA-Lab. Перед работой на анализаторе золу растворяли в 1,0 см³ концентрированной муравьиной кислоты и 9,0 см³ бидистиллированной воды.

В качестве индикаторного электрода в трехэлектродной электрохимической ячейке анализатора TA-Lab использовали амальгамный электрод. Электрод сравнения и вспомогательный – хлоридсеребряный электрод, заполненный раствором 1М хлорида калия. Пробу каждого образца анализировали в трех параллельных опытах. Определение

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

проводили методом добавок с использованием стандартных растворов, содержащих по 1 мг/л или 10 мг/л каждого из определяемых металлов. Расчет концентрации металлов выполняли с помощью специализированной компьютерной программы TA-Lab (версия 3.6.10). Относительная погрешность анализа не превышает 7 %.

Суммарное содержание кальция и магния определяли методом обратного комплексометрического титрования. Отдельно содержание кальция определяли обратным комплексометрическим титрованием в присутствии мурексида. Содержание магния определяли по разнице между суммарным содержанием кальция и магния, и содержанием кальция. Для комплексометричного определения золу растворяли в дистиллированной воде. Титрования выполняли микробюреткой.

Содержание железа определяли фотоэлектроколориметрическим методом (фотометр КФК-3).

Статистическую обработку результатов содержания магния, кальция и железа проводили для уровня вероятности 0,95, число измерений $n = 3$ [11].

Согласно полученным результатам, сухофрукты – концентраты минеральных веществ, содержание исследуемых микроэлементов в сушеных яблоках в 1,2–2,0 раза больше, чем в свежих (табл.).

Таблица

Содержание микроэлементов в исследуемых образцах, мг на 100г продукта

Образец	Элемент						
	Zn	Cu	Pb	Cd	Ca	Mg	Fe
Яблоко с кожурой	0,49±0,08	0,040±0,006	–	–	8,00±0,08	9,60±0,06	3,78±0,04
Яблоко без кожуры	0,30±0,06	–	–	–	8,00±0,10	9,60±0,06	2,87±0,04
Яблоко сушеное	0,83±0,08	0,070±0,006	–	–	12,00±0,08	13,20±0,10	5,08±0,06
Банан	0,14±0,02	0,063±0,004	0,190±0,004	–	8,00±0,08	14,40±0,08	4,50±0,06
Смородина	2,30±0,12	0,033±0,004	0,062±0,004	–	32,00±0,12	24,00±0,10	1,75±0,04

Исследованные микроэлементы распределяются в яблоках следующим образом, кожура преимущественно накапливает элементы цинк и медь, а мякоть – кальций, магний, железо. Связано такое распределения микроэлементов с особенностями строения кожуры и мякоти яблок. В кожуре яблок содержится 4,7–5,2 % (по сухому веществу) пектиновых веществ, в мякоти – 1,8–1,9 %. При этом наибольшее количество протопектина содержится в кожуре, а водорастворимого пектина – в мякоти. Протопектин – нерастворимый в воде природный пектин, комплекс полигалактуронозой кислоты с клетчаткой, гемицеллюлозой, ионами металлов. Ионы многовалентных металлов (цинка, меди и др.) с -COOH группами полигалактуронозой кислоты образуют ионные мостики. Катионы определяемых микроэлементов по «активности» к полигалактуронозой кислоте размещаются в ряд $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$. Такая последовательность объясняется тем, что катионы двухвалентных ионов меди, цинка, свинца, кроме соединений типа $\text{R}(\text{COO})_2\text{Me}$, могут образовывать комплексные соединения за счет взаимодействия с оксогруппами полигалактуронозой кислоты, а также соли типа $\text{R}(\text{COO})\text{Me}(\text{OOCCH}_3)$. Поэтому при формировании кожуры яблока во время роста плода, в ней накапливаются элементы медь, цинк, а при неблагоприятных экологических условиях могут накапливаться свинец и кадмий.

Мякоть яблока содержит преимущественно растворимый пектин, который состоит из частично или полностью метоксилированных остатков полигалактуронозой кислоты. При этом молекулы пектина взаимодействуют между собой за счет свободных карбоксильных групп, которые связываются ионами кальция и магния в каркас. То есть при росте яблок элементы магний, кальций принимают участие в формировании мякоти плода.

Таким образом, токсические микроэлементы накапливаются преимущественно кожурой яблок. Поэтому рекомендуется при отсутствии достоверной информации о содержании в яблоках опасных микроэлементов перед употреблением удалять кожуру.

Черная смородина содержит пектина больше (до 2,7 %), чем яблоки (до 1,8 %) и бананы (до 0,5 %), и микроэлементов кальция и магния (табл.) содержится в черной смородине в 2–4 раза больше. Можно сказать, что содержание таких микроэлементов, как магний, кальций, цинк, медь в плодах и ягодах растений прямо пропорционально содержанию пектиновых веществ.

Следует отметить, что в исследуемых образцах смородины и бананов наряду с жизненно необходимыми микроэлементами наблюдалось высокое содержание токсичного микроэлемента свинца, который поступил из почвы во время роста плодов и ягод, и был связан в комплексные соединения пектиновыми веществами. Согласно результатам исследования содержание свинца в образце смородины превышает предельно допустимую концентрацию в 1,55 раза, в образце банана – в 4,75 раза. Поэтому контроль качества сырья и готовых к употреблению продуктов – одно из определяющих условий здорового питания. Приоритетным направлением в технологии производства продуктов повышенной биологической ценности должно быть использование высококачественного, экологически чистого сырья.

Выводы и предложения. Представленные нами данные позволяют предположить, что накопление как жизненно необходимых, так и токсичных микроэлементов в плодах непосредственно связано с содержанием пектиновых веществ. Протопектин преимущественно связывает цинк, медь, свинец, кадмий. При неблагоприятных экологических условиях плоды и ягоды могут активно накапливать такие токсичные микроэлементы, как свинец и кадмий, а концентрация этих элементов в порошках, сухофруктах, пюре, полученных из таких плодов и ягод, будет почти в 2 раза выше, чем в свежих. Использование фруктово-ягодного сырья (порошков, пюре, жома и т. д.) в производстве продуктов питания повышенной биологической ценности – перспективное направление, однако должно сопровождаться жестким контролем безопасности сырья.

Список использованных источников

1. *Дробот В. И.* Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности / В. И. Дробот. – К. : Урожай, 1988. – 152 с.
2. *Костюк В. С.* Совершенствование технологий мучных кондитерских изделий на основе использования новых рецептурных компонентов [Электронный ресурс] / В. С. Костюк // Сб. науч. тр. SWorld, 2013. – Режим доступа : <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/technical-sciences-413/technology-of-food-products-413/20540-413-1251>.
3. *Якименко Т. П.* Возможность использования нетрадиционного растительного сырья в производстве бисквитных изделий / Т. П. Якименко, Т. С. Гвасалия, С. С. Луста // Материалы науч.-практ. конф. «Инновационные направления в пищевых технологиях». – Пятигорск, 2012. – С. 364–367.
4. *Амантаева А. А.* Сахарное печенье повышенной пищевой ценности с использованием композитной смеси из плодово-ягодного сырья / А. А. Амантаева, Н. Е. Джерембаева // Материалы науч.-практ. конф. «Пищевые технологии и биотехнологии». – Казань, 2009. – С. 6.
5. *Липатов Н. Н.* Совокупное качество технологических процессов молочной промышленности и количественные критерии его оценки / Н. Н. Липатов, С. Ю. Сажинов, О. И. Башкиров // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – № 4. – С. 33–34.
6. *Новые напитки на основе молочной сыворотки с использованием плодовоовощных пюре и фитоэкстрактов для оздоровительного питания* / Р. Ю. Павлюк, Т. С. Абрамова, А. А. Берестова и др. // Материалы науч.-практ. конф. «Инновационные технологии в пищевой промышленности и ресторанном хозяйстве». – Х., 2014. – С. 155–157.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Симахина Г. А. Перспективы комплексного использования черной смородины для получения криопродуктов / Г. А. Симахина, Н. В. Науменко // Продукты и ингредиенты. – 2007. – № 4. – С. 72–74.
8. Павлюк Р. Ю. Інноваційні технології вітамінного плодово-ягідного морозива з використанням заморожених дрібнодисперсних добавок з рослинної сировини / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, А. А. Берестова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4, № 10 (64). – С. 57–62.
9. Погарская В. В. Разработка молочно-растительных десертов на основе творога для оздоровительного питания / В. В. Погарская, Г. В. Кипенко, Н. Е. Гужвинская // Материалы науч.-практ. конф. «Инновационные технологии в пищевой промышленности и ресторанном хозяйстве». – Х., 2014. – С. 185–187.
10. Тележенко Л. Н. Биологически активные вещества фруктов и овощей и их сохранение при переработке / Л. Н. Тележенко, А. Т. Безусов. – О. : OPTIMUM, 2004. – 268 с.
11. Gordon A., Ford R. The chemist's companion. – New York, 1972. – 541 p.

References

1. Drobot, V.I. (1988). *Ispolzovanie netraditsionnogo syria v khlebopekarnoi promyshlennosti [The use of non-traditional raw materials in the baking industry]*. Kyiv: Urozhai (in Russian).
2. Kostiuk, V.S. (2013). Sovershenstvovanie tekhnologii muchnykh konditerskikh izdelii na osnove ispolzovaniia novykh retsepturnykh komponentov [Improvement of technologies of pastry products by using new prescription components]. *SWorld – Scientific World*. Retrieved from <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/technical-sciences-413/technology-of-food-products-413/20540-413-1251>.
3. Yakimenko, T.P., Gvasaliia, T.S., Lusta, S.S. (2012). Vozmozhnost ispolzovaniia netraditsionnogo rastitelnogo syria v proizvodstve biskvitnykh izdelii [The ability to use non-traditional vegetable raw materials in the production of biscuits]. Proceedings from *Innovatsionnye napravleniia v pishchevykh tekhnologiakh – Innovative trends in food technologies*. Piatigorsk, pp. 364–367 (in Russian).
4. Amantaeva, A.A., Dzherembaeva, N.E. (2009). Sakharnoe pechene povyshennoi pishchevoi tseennosti s ispolzovaniem kompozitnoi smesi iz plodovo-iagodnogo syria [Sugar Cookies increased nutritional value, using a composite mixture of fruits and berries]. Proceedings from *Pishchevye tekhnologii i biotekhnologii – Food Technology and Biotechnology*. Kazan, pp. 6 (in Russian).
5. Lipatov, N.N., Sazhinov S.Yu., Bashkirov, O.I. (2001). Sovokupnoe kachestvo tekhnologicheskikh protsessov molochnoi promyshlennosti i kolichestvennyye kriterii ego otcenki [The total quality of production processes of the dairy industry and quantitative criteria for its evaluation]. *Khranenie i pererabotka selkhozsyria – Storage and processing of farm products*, no. 4, pp. 33–34 (in Russian).
6. Pavliuk, R.Yu., Abramova, T.S., Berestova, A.A. et al. (2014). Novye napitki na osnove molochnoi syvorotki s ispolzovaniem plodoovoshchnykh piure i fitoekstraktov dlia ozdorovitel'nogo pitaniia [The new drink based on milk whey with fruit puree and phytoextracts for health food]. *Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoi promyshlennosti i restorannom khoziaistve – Innovative technologies in the food industry and catering sector*. Kharkov, pp. 155–157 (in Russian).
7. Simakhina, G.A., Naumenko, N.V. (2007). Perspektivy kompleksnogo ispolzovaniia chernoi smorodiny dlia polucheniia krioproductov [Prospects for the integrated use of black currant for cryogenic]. *Produkty i ingrediety – Products and Ingredients*, no. 4, pp. 7–274 (in Russian).
8. Pavliuk, R.Yu., Poharska, V.V., Berestova, A.A. (2013). Innovatsiini tekhnologii vitaminnoho plodovo-yahidnogo morozyva z vykorystanniam zamorozhenykh dribnodispersnykh dobavok z roslinnoi syrovyny [Innovative technologies of vitamin fruitberry ice-cream production using frozen fine-dispersed additives made of plant raw materials]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 10 (64), pp. 57–62 (in Ukrainian).
9. Pogarskaia, V.V., Kipenko, G.V., Guzhvinskaia, N.E. (2014). Razrabotka molochno-rastitelnykh desertov na osnove tvoroga dlia ozdorovitel'nogo pitaniia [The development of milk-based desserts, vegetable cheese for health food]. *Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoi promyshlennosti i*

restorannom khoziaistve – Innovative technologies in the food industry and catering sector. Kharkov, pp. 185–187 (in Russian).

10. Telezhenko, L.N., Bezusov, A.T. (2004). *Biologicheski aktivnye veshchestva fruktov i ovoshchei i ikh sokhranenie pri pererabotke [Biologically active substances of fruit and vegetables and their conservation in the processing]*. Odessa: OPTIMUM (in Russian).

11. Gordon A., Ford R. (1972). *The chemist's companion*. New York.

Челябиева Виктория Николаевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Челябієва Вікторія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Cheliabiieva Viktoriia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vika.chl@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5364-4633>

ResearcherID: F-7305-2014

Scopus Author ID: 6505851894

Гаврик Мария Валериевна – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Гаврик Марія Валеріївна – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Havryk Maryia – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gavrik_1997@list.ru

Литвиненко Елена Олеговна – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Литвиненко Алёна Олеговна – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Lytvynenko Alena – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Nonochka96@i.ua

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 53.043+004.942

Олександр Коваленко, Ольга Кряжич

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ МІГРАЦІЇ ТРИТІУ ЗА ЛАНЦЮГОМ «ТАЛА ВОДА СНІГОВОГО ПОКРИВУ – РОСЛИНА»

Александр Коваленко, Ольга Кряжич

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ МИГРАЦИИ ТРИТИЯ ПО ЦЕПОЧКЕ «ТАЛАЯ ВОДА СНЕГОВОГО ПОКРОВА – РАСТЕНИЕ»

Oleksandr Kovalenko, Olga Kryazhych

RESEARCH OF DEPENDENCIES OF MIGRATION OF TRITIUM IN THE CHAIN “MELTING WATER OF THE SNOW COVER – PLANT”

Наведено результати досліджень залежностей міграції радіонукліда водню – тритію. Дослідження проведені за ланцюгом «тала вода снігового покриву – рослина». Виявлено, що питома активність тритію у воді наростає поліноміально. Також виявлено, що різна активність тритію у складі вільної води рослин може бути обумовлена процесами життєдіяльності рослин з урахуванням погодних умов, складом ґрунту, на якому знаходиться рослина. Зроблені висновки з урахуванням отриманих результатів для прогнозування можливих наслідків викидів техногенного тритію в результаті аварійних ситуацій на атомних електростанціях та підприємствах ядерного синтезу.

Ключові слова: тритій, міграція, радіонуклід, питома активність, поліном.

Рис.: 3. Табл.: 3. Бібл.: 7.

Приведены результаты исследований зависимостей миграции радионуклида водорода – трития. Исследования проведены по цепочке «таялая вода снежного покрова – растение». Обнаружено, что удельная активность трития в воде нарастает полиномиально. Также выявлено, что различная активность трития в составе свободной воды растений может быть обусловлена процессами жизнедеятельности растений с учетом погодных условий, составом почвы, на котором находится растение. Сделаны выводы с обозначением практической ценности полученных результатов для прогнозирования возможных последствий выбросов техногенного трития в результате аварийных ситуаций на атомных электростанциях и предприятиях ядерного синтеза.

Ключевые слова: тритий, миграция, радионуклид, удельная активность, полином.

Рис.: 3. Табл.: 3. Библ.: 7.

The paper presents the results of investigations of dependencies of the migration of the radionuclide hydrogen – tritium. Studies conducted in the chain "the melting water of the snow cover – a plant". Discovered that the specific activity of tritium in the water of the polynomial increases. Also revealed that the different activity of tritium in the composition of the free water of plants may be due to weather conditions and soil composition. The findings with the marking of the practical value of the results obtained for the prediction of possible consequences of anthropogenic emissions of tritium.

Key words: tritium, migration, radionuclide, specific activity, polynomial.

Fig.: 3. Tabl.: 3. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Під час поїздки на Чорнобильську АЕС у рамках заходів Першої міжнародної конференції «Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDECО'16 (м. Славутич, 25–27 квітня 2016 р.) було зазначено, що новий конфайнмент (НБК, Арка) забезпечить надійний захист 4-го енергоблока АЕС від випромінення та пилу, що виникає в результаті поступової руйнації об'єкта «Укриття», що створював захист з моменту аварії. Проте від радіонуклідів, що потрапили у навколишнє середовище під час та після аварії, надійного захисту поки що немає. І однією з причин такого стану є відсутність досліджень щодо особливостей міграції ряду радіонуклідів, серед яких, зокрема, є радіонуклід водню – тритій.

Після аварії на Чорнобильській АЕС у навколишнє середовище потрапило близько 10^{14} Бк тритію. І нині більшість водойм зони відчуження мають понаднормові показники вмісту тритію. Небезпека впливу цього радіонукліда на живі істоти полягає в тому, що організм визначає тритій, як звичайний атом водню. Унаслідок малої енергії випромінювання тритій не призводить до зовнішнього випромінювання, а надходить за харчовими ланцюгами з їжею та водою. Тритій, що потрапляє усередину клітин організму з молекулами води, спричиняє більші ушкодження, ніж зовнішнє опромінення через те, що продукти роз-

паду стають джерелами внутрішнього випромінювання, призводять до ушкодження органічних комплексів та ДНК, порушення кровотворення та виникнення злоякісних утворень.

Вітчизняні і закордонні дослідники мають відносно незначні досягнення у зазначеній сфері: радіобіологічні властивості тритію вивчені недостатньо, оцінки концентрацій тритію у питній воді за даними та методиками ВООЗ, ЕАТОМ та МАГАТЕ, а також науковими публікаціями різних країн світу є протилежними та суперечливими, існують деякі моделі міграції тритію у воді, проте не представлено моделей, що описують міграцію у системі «вода – ґрунт – рослина», «повітря – вода», «рослина – тварина» та навколишньому середовищі загалом.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Існує багато наукових праць, в яких представлені результати статистичних спостережень забруднення тритієм. Найбільш відомою в цій сфері є робота доктора А. В. Клемента з вимірами за період у 40 років [1], а також робота дослідника Грега Джонса щодо забезпечення безпеки від тритію з водяних реакторів [2]. Серед робіт російських дослідників можна зазначити за досліджуваною темою працю Г. Романова [3]. Найбільш відомий дослідник з міграції продуктів ядерного синтезу в Україні – доктор біологічних наук Б. С. Прістер з Інституту проблем безпеки АЕС НАН України [4]. Також серед Українських науковців, які займаються дослідженням та моделюванням подій, пов'язаних з імовірним забрудненням тритієм, можна назвати представників харківської школи з Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем – Г. Д. Коваленка, В. В. Турбаєвського [5–6]. Найбільш цікавою за зазначеною темою є нова робота, в якій представлена статистика й аналіз руху тритію у біосфері [7] за авторства провідних учених-представників різних інститутів Національної академії наук України.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проблема дослідження міграції тритію у навколишньому середовищі полягає у фізико-хімічних особливостях водню, який знаходиться у біосфері здебільшого у вигляді сполук. Загальна ідея підходу дослідження міграції тритію за ланцюгом «тала вода снігового покриву – рослина» полягає в аналізі закономірності розподілу тритію в молекулах води у соку беріз після початку танення снігового покриву з урахуванням температурного режиму та структури ґрунту.

Мета статті. Метою роботи є представлення математичних залежностей міграції тритію за ланцюгом «тала вода снігового покриву – рослина» на основі оброблення спостережень наявності тритію у соку беріз за 10 років та виявлення особливостей міграції тритію у талій воді від температури повітря і складу ґрунту.

Виклад основного матеріалу. Водень є однією з головних речовин життєдіяльності та функціонування живих організмів. Це пояснюється надзвичайною роллю води в цих процесах. Унаслідок ізотопного обміну важкі ізотопи водню можуть легко і швидко включатися у біохімічні процеси та заміщувати атоми водню на тритій.

Накопичення і міграція тритію в навколишньому середовищі визначається часом перебування, місцем знаходження й інтенсивністю обміну в повітряних масах, а також концентрацією тритію у стратосфері протягом обмінних процесів. Влітку над землею концентрація тритію нижче від 2 км підвищується через випаровування весняних і зимових атмосферних опадів, а над морями на ту ж відстань – зменшується через поглинання тритію водою. Кругообіг атмосферної води через повітряний океанічний обмін відбувається дуже швидко, тому внаслідок швидкого обміну ізотопів між краплями води й паром, дощі переносять тритій у нижні шари тропосфери [7].

Враховуючи, що ядро тритію нестабільне, то абсолютна інтенсивність бета-випромінювання дорівнює 100 %. Основну частину своєї енергії бета-електрони тритію витрачають на взаємодію з електронними оболонками атомів речовини середовища, в якому вони рухаються. Ізотопний склад водню і кисню, що у процесі фотосинтезу переходять до вуглеводів рослин із води, практично повністю визначається ізотопним

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

складом води. Ізотопи водню фракціонуються під час перебігу процесів випаровування-конденсації води. Варіації відношень $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$ прямо корелюють із середньорічною температурою. Температура конденсації води значною мірою впливає на її ізотопний склад, що доведено багатьма спостереженнями.

Процес трансформації водної форми тритію НТО в «органічно зв'язаний» ізотоп тритію ^3H підпорядкований дискримінації ^3H щодо ^1H , що призводить до зниження надходження ^3H в органічні сполуки приблизно на 20 %. Це означає, що відношення максимальної питомої активності ^3H в органічних фракціях і вільній воді рослин після одноразового його надходження вже через кілька діб становить близько 0,05. За постійного надходження ^3H у навколишнє середовище питомі активності ^3H у складі вільної води й «органічно зв'язаного» ^3H наростають у часі, як зазначено у [7], ймовірно, експоненціально.

Зміни в часі (зростання або зниження) концентрації тритію у разі потрапляння його в навколишнє середовище разом з водою можна довести за результатами спостережень.

Дослідження проводилися на Багриновій горі, яка обмежена проспектом Науки та вулицями Лисогірська, Ракетна та Панорамна. Грунт території сформований на лісових відкладах з великою присутністю глини та глиноземів. Структура – пориста, багата вимінами та кавернами. Рослинне покриття – широколистяні дерева з елементами підліску. Трав'яний ярус – характерний для лісових територій.

Підготовка зразків та вимірювання вмісту в них радіонуклідів проводилася в лабораторії Центру екологічних проблем атомної енергетики (ЦЕПАЕ). Апаратура, що використовується для вимірювань, атестована та проходить регулярні планові перевірки. Похибки вимірювань – у межах норми.

У табл. 1 наведено результати вимірів питомої активності тритію у скидних водах за період з лютого по листопад 2014 року. Проби відбиралися у точках виміру, встановлених для підприємства, що використовує або викидає тритій у процесі виробничої діяльності.

Таблиця 1

Питома активність тритію у скидних водах у 2014 р., Бк/л

№ п/п	Дата відбору	Вода (500 м від точки викиду тритію)	Погодні умови
1	06.02	321,1 ± 11,5	температура 0 °С, вітер 6 м/с, південний, вологість повітря 71 %, хмарно
2	03.03	223,4 ± 12,3	температура +3 °С, вітер 4 м/с, північно-східний, вологість повітря 89 %, мокрий сніг
3	01.04	590,9 ± 16,2	температура +7 °С, вітер 7 м/с, північний, вологість повітря 34 %, ясно
4	06.05	400,9 ± 12	температура +12 °С, вітер 7 м/с, західний, вологість повітря 44 %, ясно
5	06.06	78,1 ± 4,0	температура +26 °С, вітер 5 м/с, північно-західний, вологість повітря 36 %, ясно
6	27.06	70,9 ± 4,0	температура +21 °С, вітер 6 м/с, північно-західний, вологість повітря 65 %, дощ
7	30.07	88,4 ± 4,4	температура +33 °С, вітер 4 м/с, південно-східний, вологість повітря 23 %, ясно
8	03.10	156,1 ± 6,1	температура +15 °С, вітер 2 м/с, північно-східний, вологість повітря 37 %, ясно

Як можна помітити з табл. 1, активність тритію зростає в період танення снігу та навесні й восени, у дощовий період, що обумовлено додатковим проникненням у навколишнє середовище вод, що утримують НТО, з атмосфери та з поверхні ґрунту і рослин.

Тобто наявні нестабільні дані щодо зростання й убунання тритію у скидних водах залежно від температури, пори року, вологості повітря. За кількістю максимальних та мінімальних величин знайдена четверта ступінь екстремуму, бо чітко прослідковуються три мінімуми і максимуми, що наведено на графіку (рис. 1).

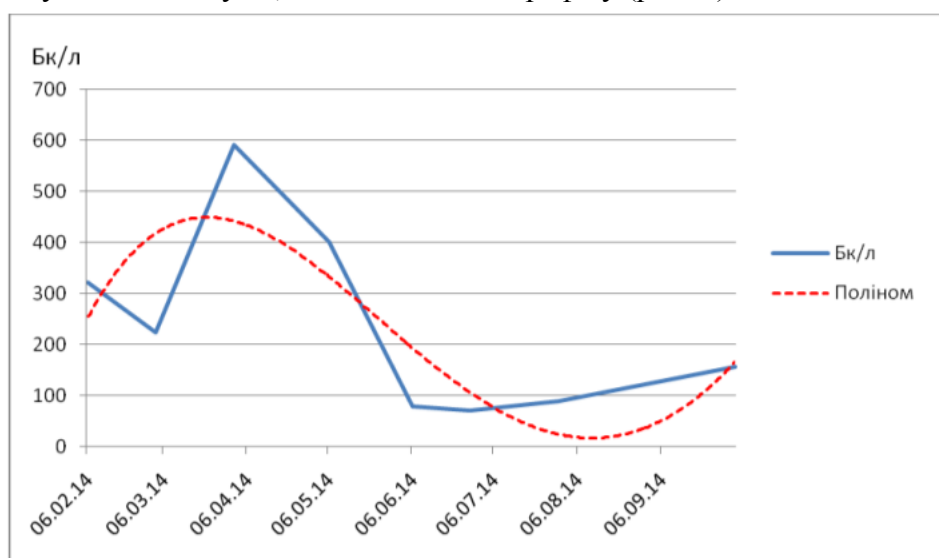


Рис. 1. Питома активність тритію у скидних водах у часі

Виходячи з рис. 1 можна зазначити, що спостерігається поліноміальна залежність змін питомої активності ^3H у часі при його надходженні у навколишнє середовище, яка може бути представлена таким рівнянням:

$$y = -7 \cdot 10^7 x^4 + 0,1161x^3 - 7299,7x^2 + 0,8x + 12.$$

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,635$, тобто наближується до 1, що вказує на відповідність моделі наявним даним.

Така ж сама поліноміальна залежність, але вже шостого ступеня, спостерігається у змінах питомої активності тритію у талій воді снігового покриву (табл. 2, рис. 2).

Таблиця 2

Питома активність тритію у талій воді снігового покриву у 2014 р.

Дата відбору зразків 10.02.2014 р.

№ точки відбору	Питома активність, Бк/л	№ точки відбору	Питома активність, Бк/л
1	136,4 ± 5,9	10	185,8 ± 7,2
2	138,9 ± 6,0	11	144,2 ± 7,6
3	145,8 ± 6,0	12	210,1 ± 7,8
4	154,4 ± 6,0	13	220,9 ± 8,2
5	156,4 ± 5,9	14	249,5 ± 8,2
6	170,1 ± 6,6	15	230,7 ± 8,5
7	150,6 ± 6,2	16	159,5 ± 6,5
8	163,6 ± 6,5	17	183,3 ± 7,3
9	128,7 ± 5,5		
Реперна точка (відстань – 30 км) – 74,5 ± 5,2			

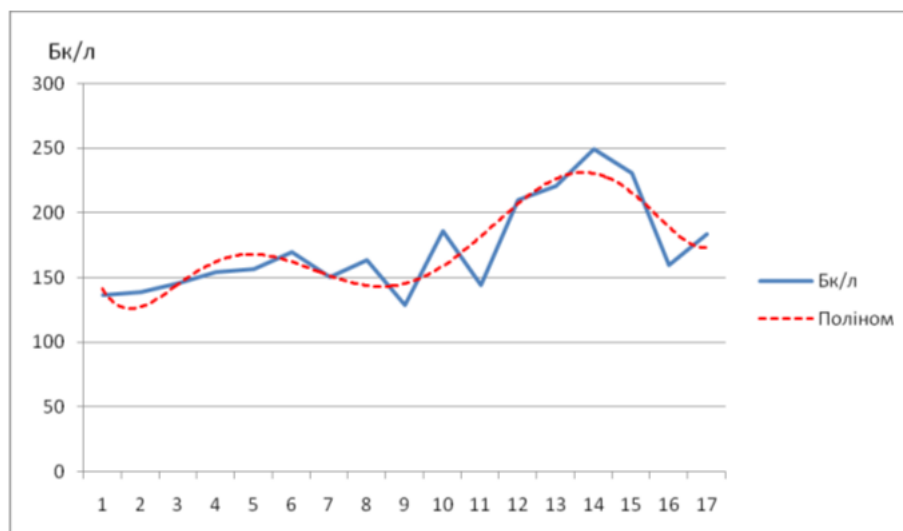


Рис. 2. Питома активність тритію у талій воді снігового покриву

Виміри питомої активності тритію у талій воді проводилися за вісім днів після виміру питомої активності у скидних водах у 2014 році. Погодні умови на час досліджень талої води майже не змінилася. Так, температура вдень, 10 лютого 2014 року, становила $+1^{\circ}\text{C}$, вітер -2 м/с, південно-східний, вологість повітря 100 %, хмарно. До дня відбору проб погодні умови були такими: вночі температура не опускалася нижче 0°C , вдень – становила до $+4^{\circ}\text{C}$. У перші дні лютого 2014 року температура була морозною, але вже 5 лютого вдень відбулося потепління ($+5^{\circ}\text{C}$) з пониженням вночі (-8°C). З 7 лютого почалося потепління і температура вдень коливалася в межах $(1-5)^{\circ}\text{C}$ тепла. Тобто на дату відбору розпочалося таяння снігу.

Сімнадцять точок дослідження – точки відбору зразків у межах 300 м санітарно-захисної зони підприємства, що використовує у своїй виробничій діяльності тритій. Ці точки відповідають характеристикам місцевості, що досліджується – на підвищенні, у низинах, місцях, де є активне вивітріння, освітлення чи затемнення від сонця, під деревами, на відкритій місцевості. Виявлена поліноміальна залежність дозволяє припустити, що так само буде відбуватися і проникнення тритію у ґрунт з наступним рухом у соку дерев.

Приблизно із середини минулого століття почали приділяти увагу дослідженням взаємодії тритію з тканинами дерев, а з 80-х років того ж століття – розпочали дослідження розподілу тритію в річних кільцях дерев. Було виявлено, що до 1990-х років активність тритію у рідких атмосферних опадах стала меншою за його активність у деревині, що зумовлено накопиченням тритію у складі деревини. Після припинення ядерних випробувань концентрація тритію в атмосфері почала поступово зменшуватись, у деревині процес «очищення» відбувається повільніше, що можна пояснити накопиченням тритію у тканинах дерев в обмінній формі, що підтверджується і відповідними дослідженнями, про які буде зазначено нижче.

У ґрунті тритій знаходиться в двох основних формах. Основна його частина міститься у вільній воді ґрунту (НГО) і відповідає вмісту тритію в атмосферній воді. У верхньому 4-сантиметровому шарі ґрунту міститься 25 % запасу тритієвої води. У міру заглиблення в гумус вміст тритієвої води знижується до 4 % у шарі 14–16 см, а у шарі 16–18 см – зростає до 10 % загального запасу. Нижче від 16 см міститься 40 % загального запасу тритію [7]. Після видалення ґрунтової вологи (вільна вода) деяка частина тритію залишається у ґрунті в іонообмінній та сорбованій формах.

Тобто тритій, як нуклід водню, характеризується високою міграційною здатністю у воді, що обумовлює його активність у обмінних процесах живих організмів та переміщення в системі «вода – рослина».

Корені та інші підземні органи відносно активно збагачуються ^3H . Розподіл органічно зв'язаного тритію (ОЗТ) у тканинах й органах рослин неоднорідний і визначається біохімічними характеристиками структур. Рослини та ґрунтові бактерії є каталізаторами окиснення газоподібного тритію НТ, що міститься в атмосфері. Це спричиняє підвищення питомої активності ^3H у ґрунтовій волозі порівняно з його питомою активністю у вільній воді рослин. Швидкість трансформації газоподібного тритію НТ у водну форму тритію НТО в рослинному покриві оцінюють приблизно в 1 % за 48 год.

У [7] зазначається, що питому активність ^3H у складі вільної води рослин можна вважати практично однаковою в усіх органах рослини лише за умови однакової його активності в атмосферній і ґрунтовій волозі, інакше спостерігаються істотні відмінності, обумовлені градієнтом концентрації ^3H у системі атмосфера-рослина-ґрунт. Ґрунтуючись на даних досліджень за табл. 3, можна зазначити, що твердження [7] є базовим, проте різна активність тритію у складі вільної води рослин може бути обумовлена процесами життєдіяльності рослин за різних погодних умов, а також складом ґрунту, на якому знаходиться рослина, що досліджується.

Так, у табл. 3 наведені максимальні значення питомої активності тритію за 10 років у талій воді снігового покриву в санітарній зоні підприємства, що використовує тритій у виробничій діяльності, та за однією точкою замірів березового соку у дерев, що розташовані в межах санітарної зони.

Таблиця 3

Питома активність тритію у талій воді снігового покриву та соку берези, Бк/л

№	Рік	Тала вода снігового покриву	Березовий сік			
		Питома активність	Питома активність	Дата відбору	Погодні умови на час відбору (9:00)	Реперна точка, 20 км
1	2005	634,8 ± 51,3	665,4 ± 50,2	06.04	+16 °С, ясно, вітер південно-західний, 3 м/с, атм. тиск 751 мм, вологість повітря 28 %	58,2 ± 16,4
2	2006	1393,0 ± 52,5	781,3 ± 36,9	06.04	+8 °С, димка, вітер південно-східний, 3 м/с, атм. тиск 739 мм, вологість повітря 92 %	52,4 ± 6,4
3	2007	1267,0 ± 87,6	126,03 ± 20,6	02.04	+9 °С, ясно, вітер північно-західний, 5 м/с, атм. тиск 744 мм, вологість повітря 49 %	43,4 ± 6,4
4	2008	748,0 ± 40,3	1072,0 ± 48,0	09.04	+13 °С, змінна хмарність, вітер південно-східний, 3 м/с, атм. тиск 741 мм, вологість повітря 82 %	93,4 ± 2,3
5	2009	208,4 ± 11,9	160,4 ± 10,4	23.04	+12 °С, ясно, вітер східний, 2 м/с, атм. тиск 748 мм, вологість повітря 23 %	54,2 ± 2,6
6	2010	143 ± 6	224 ± 15	06.04	+13 °С, змінна хмарність, вітер південно-східний, 2 м/с, атм. тиск 750 мм, вологість повітря 56 %	61 ± 3
7	2011	169,5 ± 6,8	277,4 ± 14,7	06.04	+8 °С, хмарно, вітер північний, 4 м/с, атм. тиск 747 мм, вологість повітря 75 %	102,5 ± 6,3
8	2012	131,0 ± 5,9	104,0 ± 5,8	03.04	+5 °С, змінна хмарність, вітер західний, 6 м/с, атм. тиск 743 мм, вологість повітря 70 %	102,5 ± 6,3
9	2013	103,5 ± 4,9	183,9 ± 14,2	15.04	+6 °С, суцільна хмарність, вітер північний, 5 м/с, атм. тиск 755 мм, вологість повітря 87 %	70,5 ± 6,3
10	2014	249,5 ± 8,2	124,3 ± 5,5	26.03	+11 °С, ясно, вітер південно-східний, 35 м/с, атм. тиск 744 мм, вологість повітря 62 %	55,8 ± 3,3

Максимальні значення дають можливість дослідити загальний рівень забруднення території тритієм. Одна точка дослідження (те ж саме дерево) показує навантаження забруднення на окрему рослину. Крім того, дослідження того самого об'єкта (дерева) протягом 10 років дозволяє розглянути процес міграції тритію за водообміном рослини. На рис. 3 наведено питому активність тритію у талій воді снігового покриву та соку берези за 10 років досліджень, а також графіки поліноміальних залежностей показників.

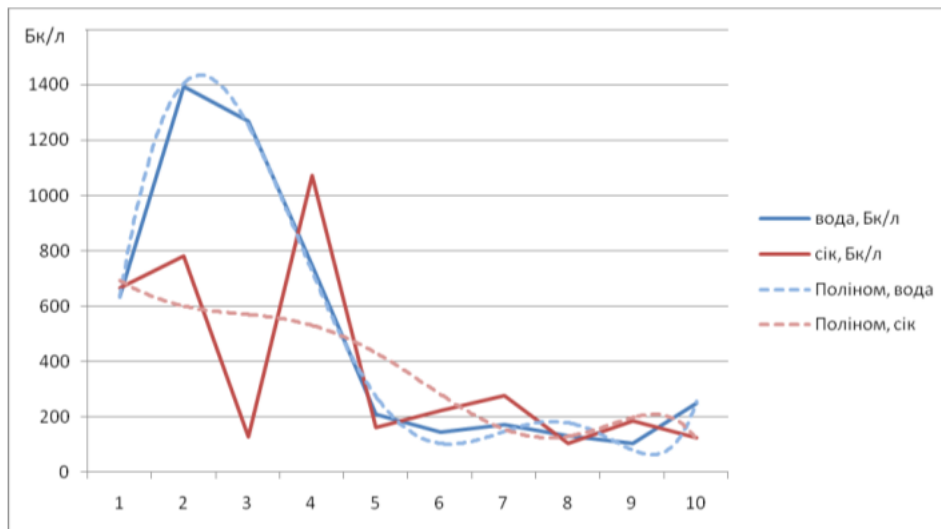


Рис. 3. Питома активність тритію у талій воді снігового покриву та соку берези за 10 років

Пік 2005–2007 років означає активну роботу підприємства з викидами небезпечної речовини в навколишнє середовище. Проте стрибок питомої активності ^3H в соку досліджуваної берези спостерігається у 2008 році, коли питома активність ^3H у талій воді снігового покриву різко зменшується. Далі йде стійке чергування показників – зростання питомої активності тритію у соку берези спостерігається після зафіксованих збільшених показників ^3H у попередньому році. Наведені графіки також ілюструють поліноміальну залежність змін питомої активності тритію.

Рівняння поліноміальної залежності за показниками талої води снігового покриву:

$$y = 0,199x^6 - 5,5598x^5 + 51,91x^4 - 136,55x^3 - 500,14x^2 + 2610,9x - 1388,8.$$

Коефіцієнт апроксимації: $R^2 = 0,9954$.

Рівняння за показниками питомої активності тритію у соку берези:

$$y = -0,0643x^6 + 1,705x^5 - 15,717x^4 + 56,944x^3 - 51,589x^2 - 149,79x + 853,11.$$

Коефіцієнт апроксимації: $R^2 = 0,4124$. Низький показник коефіцієнта апроксимації обумовлений великими стрибками показника питомої активності тритію у соку берези з абсолютного мінімуму до абсолютного максимуму. Це теж дозволяє зробити певні висновки.

Зокрема, у роботі [7] зазначається, що виведення ^3H з рослин визначається процесом водообміну. Основний період напіввиведення, характерний для 90 % виведення водної форми тритію НГО, практично не залежить від кліматичних умов і коливається від декількох годин до (10–20) діб.

Проте з графіків (рис. 3) чітко видно, що частина тритію, що в лютому була визначена у талій воді снігового покриву, і яка, за логікою [7], повинна була в березні–квітні підвищити питому активність ^3H в соку берези, не бере участі у процесі водообміну. Проте на наступний рік питома активність тритію у соку берези іноді доволі різко зростає, хоча показники присутності ^3H у талій воді – зменшуються.

Зазначене може бути обумовлено певними факторами.

По-перше, у роки, коли питома активність тритію у соку беріз зменшувалася, температура повітря у період досліджень була більшою. Тобто у дерев спостерігався більш активний період руху соку. Через це на дату дослідження питома активність тритію у соку берези могла вже зменшитися.

По-друге, тритій, що потрапляв з талою водою снігового покриву до глинистого ґрунту, міг брати участь у заміщенні атомів водню деяких глинистих мінералів (про можливість такої реакції зазначено у [7]). Коливання температури уповільнювали (у разі пониження) чи прискорювали (у разі підвищення) такий обмін, як звичайної хімічної реакції з присутністю атому водню. Тому частина ^3H з талих вод акумулювалася в ґрунті.

По-третє, наведені дані вказують на різке зростання питомої активності тритію в навколишньому середовищі наприкінці зими – початку весни. Протягом року поліноміальна залежність змін питомої активності тритію показує стійке циклічне зменшення питомої активності чотири рази за мінімумом і максимумом. Це дозволяє зробити припущення, що період накопичення та виведення тритію у рослин все ж має залежність від кліматичних умов, а також, вірогідно, від складу ґрунту, на якому росте рослина.

Висновки і пропозиції. У статті представлені математичні залежності міграції тритію за ланцюгом «тала вода снігового покриву – рослина» на основі оброблення спостережень наявності тритію у соку беріз за 10 років та виявлення особливостей міграції тритію через талу воду снігового покриву до соку рослин від температури повітря і складу ґрунту.

Отримано такі результати:

1) за постійного надходження тритію в навколишнє середовище питомі активності ^3H у складі вільної води й «органічно зв'язаного» ^3H нарастають у часі поліноміально;

2) доведено базове твердження, що питома активність ^3H у складі вільної води рослин можна вважати практично однаковою в усіх органах рослини лише за умови однакової його активності в атмосферній і ґрунтовій волозі, інакше спостерігаються істотні відмінності, обумовлені градієнтом концентрації ^3H у системі атмосфера – рослина – ґрунт;

3) виявлено, що різна активність тритію у складі вільної води рослин може бути обумовлена процесами життєдіяльності рослин з урахуванням погодних умов, складом ґрунту, на якому знаходиться рослина.

Результати знайдених математичних залежностей міграції тритію за ланцюгом «тала вода снігового покриву – рослина» можуть бути використані для прогнозування можливих наслідків викидів техногенного тритію в результаті аварійних ситуацій на атомних електростанціях та підприємствах ядерного синтезу.

Список використаних джерел

1. *Klement A.W., Jr., et al. Estimates of Ionising Radiation Doses in the United States 1960–2000.* – EPA, 1972, 67 p.

2. *Jones G. Tritium Issues in Commercial Pressurized Water Reactors. Fusion Science and Technology* 54 (2): Pp. 329–332.

3. *Романов Г. Н. Поведение в окружающей среде и биологическое действие трития / Г. Н. Романов // Проблемы радиозкологии. – М. : ВИНТИ, 1983. – Т. 4. – С. 6–31.*

4. *Пристер Б. С. Проблемы сельскохозяйственной радиозкологии и радиобиологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления : монография / Борис Самуилович Пристер ; предисл. Р. М. Алексахин. – Чернобыль : Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2008. – 320 с.*

5. *Коваленко Г. Д. Накопичення і міграція тритію в районах розташування АЕС з реакторами ВВЕР / Г. Д. Коваленко, В. А. Седнев, В. В. Турбаєвський // Ядерна і радіаційна безпека. – 2004. – № 2. – С. 47–53.*

6. *Коваленко Г. Д. Деякі питання моделювання розповсюдження тритію в ґрунтових водах / Г. Д. Коваленко, В. В. Турбаєвський // Ядерні й радіаційні технології. – 2004. – Т. 4, № 3. – С. 46–52.*

7. *Тритій у біосфері* / В. В. Долін, О. В. Пушкар'єв, І. Ф. Шраменко та ін. – К. : Наукова думка, 2012. – 224 с.

References

1. Klement A.W., Jr. et al. *Estimates of Ionising Radiation Doses in the United States 1960–2000*. EPA, 1972, 67 p.
2. Jones G. *Tritium Issues in Commercial Pressurized Water Reactors*. Fusion Science and Technology 54 (2): Pp. 329–332.
3. Romanov, G.N. (1983). Povedenie v okruzhaiushchei srede i biologicheskoe deistvie tritiia [The environmental behavior and biological effect of tritium]. *Problemy radioekologii – Problems of radioecology*, vol. 4. Moscow: VINITI (in Russian).
4. Prister, B.S. (2008). *Problemy selskokhoziaistvennoi radioekologii i radiobiologii pri zagriaznenii okruzhaiushchei sredy molodoi smesiu produktov iadernogo deleniia [Problems of agricultural radioecology and radiobiology when environmental pollution is a young mixture of the products of nuclear fission]*. Chernobyl: In-t problem bezopasnosti AES NAN Ukrainy (in Russian).
5. Kovalenko, H.D., Sedniev, V.A., Turbaievskiy, V.V. (2004). Nakopychennia i mihratsiia trytiiu v raionakh rozstahuvannia AES z reaktoramy VVER [Accumulation and migration of tritium in the areas adjacent to nuclear power plants with VVER reactors]. *Yaderna i radiatsiina bezpeka – Nuclear & radiation safety*, no. 2, pp. 47–53 (in Ukrainian).
6. Kovalenko, H.D., Turbaievskiy, V.V. (2004). Deiaki pytannia modeliuvannia rozpovsiudzhennia trytiiu v gruntovykh vodakh [Some modeling distribution of tritium in groundwater]. *Yaderni y radiatsiini tekhnologii – Nuclear and Radiation Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 46–52 (in Ukrainian).
7. Dolin, V.V., Pushkarov, O.V., Shramenko, I.F. et al. (2012). *Trytii u biosferi [Tritium in the biosphere]*. Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).

Коваленко Олександр Васильович – кандидат технічних наук, в. о. завідувача відділом ядерної фізики, Інститут ядерних досліджень НАН України (просп. Науки, 47, м. Київ, 03680, Україна).

Коваленко Александр Васильевич – кандидат технических наук, и. о. заведующего отделом ядерной физики, Институт ядерных исследований НАН Украины (просп. Науки, 47, г. Киев, 03680, Украина).

Kovalenko Oleksandr – PhD in Technical Sciences, acting Head of the division of Nuclear Physics, Institute for Nuclear Research NAS Ukraine (47 Nauky Av., 03680 Kyiv, Ukraine).

E-mail: akovalenko@kinr.kiev.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3406-8770>

Кряжич Ольга Олександрівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Чоколівський бульвар, 13, м. Київ, 03186, Україна).

Кряжич Ольга Александровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины (Чоколовский бульвар, 13, г. Киев, 03186, Украина).

Kryazhych Olga – PhD in Technical Sciences, Senior researcher, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine (13 Chokolivskiy bulv., 03186 Kyiv, Ukraine).

E-mail: economconsult@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1845-5014>

УДК 621.357:533+661.43+66.088:621.357:533:661.8+66.067.8.081.3

Маргарита Скиба, Олександр Пивоваров, Анна Макарова,
Вікторія Воробйова, Олена Гнатко

ПЛАЗМОХІМІЧНО ОБРОБЛЕНА ВОДА ТА ВОДНІ РОЗЧИНИ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

Маргарита Скиба, Александр Пивоваров, Анна Макарова,
Виктория Воробьева, Елена Гнатко

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННАЯ ВОДА И ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Margarita Skiba, Alexander Pivovarov, Anna Makarova, Victoria Vorobyova, Elena Gnatko

PLASMA-CHEMICAL DISCHARGE TREATED WATER AND WATER SOLUTIONS FOR DRINKING WATER DISINFECTION

У роботі показано ефективність використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми як інструменту оброблення води та водних розчинів NaCl, AgNO₃, AgCl з метою одержання продуктів, що характеризуються дезінфікуючими властивостями. Зазначено технологічно доцільні умови плазмохімічного одержання дезінфікуючих сполук у воді та водних середовищах. Проаналізовано хімічні процеси у воді та водних розчинах NaCl, AgNO₃, AgCl під дією плазмового розряду. Досліджено антагоністичну дію плазмохімічно отриманих сполук на ряд мікроорганізмів (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus saprophibicus*, *Staphylococcus epidermidis*, *E.coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* та ін.) порівняно з існуючими дезінфікуючими розчинами.

Ключові слова: одержання, плазмовий розряд, окисні сполуки, наночастки срібла, дезінфекція, питна вода.

Рис.: 1. Табл.: 3. Бібл.: 9.

В работе показана эффективность использования контактной неравновесной низкотемпературной плазмы как инструмента обработки воды и водных растворов NaCl, AgNO₃, AgCl с целью получения продуктов, характеризующихся дезинфицирующими свойствами. Указано технологически целесообразные условия плазмохимического получения дезинфицирующих соединений в воде и водных средах. Проанализированы химические процессы в воде и водных растворах NaCl, AgNO₃, AgCl под действием плазменного разряда. Исследовано антагонистическое действие плазмохимически полученных соединений на ряд микроорганизмов (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus saprophibicus*, *Staphylococcus epidermidis*, *E.coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* и др.) По сравнению с существующими дезинфицирующими растворами.

Ключевые слова: получение, плазменный разряд, окислительные соединения, наночастицы серебра, дезинфекция, питьевая вода.

Рис.: 1. Табл.: 3. Библ.: 9.

The paper shows the effectiveness of use of the contact as the nonequilibrium low-temperature plasma treatment of water and aqueous solutions tool NaCl, AgNO₃, AgCl in order to obtain products characterized disinfectant properties. Said process conditions suitable plasma chemical disinfectants produce compounds in water and aqueous media. Analyzed chemical processes in water and aqueous solutions of NaCl, AgNO₃, AgCl under the action of a plasma discharge. We studied the antagonistic action of the compounds obtained Plasmochemical a number of microorganisms (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus saprophibicus*, *Staphylococcus epidermidis*, *E.coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* and others) in comparison with existing disinfectants.

Key words: preparation, plasma discharge, oxidizing compounds, silver nanoparticles, disinfection, drinking water.

Fig.: 1. Tabl.: 3. Bibl.: 9.

Постановка проблеми. Основною проблемою в нашому регіоні та в багатьох країнах світу є проблема постачання якісної питної води. Через застарілі технології, зношеність очисних споруд та трубопровідної системи загалом, цілий спектр як неорганічних, так і органічних домішок може потрапляти до споживачів. Навіть використання домашнього фільтра через накопичення та розмноження мікроорганізмів не може гарантувати безпеку [1]. Таким чином, сучасний екологічний стан та недостатня якість питної води викликає необхідність розроблення нових ефективних комплексних заходів для знезараження води.

На сьогодні водні розчини антимікробних препаратів є одним з найважливіших засобів боротьби зі збудниками інфекцій. Проте слід зазначити, що значне розширення за останні роки асортименту дезінфікуючих засобів все ще не дозволяє кардинально вирішувати питання комплексного знезараження водив наслідок відсутності інноваційних, енергоощадних та екологічно безпечних технологій одержання розчинів знезара-

ження води. Тому питання розроблення способів і технології одержання антимікробних препаратів є нині актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій. На сучасному етапі розвитку технологій водоочищення та знезараження питної води значна увага приділяється застосуванню плазмових розрядів як інструменту оброблення води, так і одержання за їх допомогою розчинів, що характеризуються унікальними дезінфікуючими властивостями. Окремі наукові співтовариства застосовують плазмові розряди переважно у газовій фазі, з цією метою застосовують коронний [2], бар'єрний [3] або іскровий плазмові розряди [4]. Серед плазмохімічних розрядів перспективним з погляду практичного застосування є контактна нерівноважна низькотемпературна плазма (КНП). Плазмовий розряд генерується між електродом, що знаходиться в газовій фазі, та поверхнею рідини, в об'ємі якої знаходиться другий електрод. Таким чином хімічні перетворення на границі розподілу фаз обумовлені комплексним впливом електрохімічного окиснення-відновлення; реакціями фотолізу, що ініціюються, УФ-опроміненням; потоком заряджених часток з газової фази на поверхню рідкого середовища [5]. Очевидно, що варіювання складу рідких фаз можливо певною мірою керувати маршрутами протікання таких хімічних перетворень. Представляє науковий і практичний інтерес досліджувати властивості таких розчинів.

Методика досліджень. Дослідження проводили в модельному плазмохімічному реакторі, конструкцію та технологічні параметри якого детально наведено авторами в роботі [6]. Розчини хлориду натрію, срібла та нітрату срібла готували розчиненням наважок прекурсорів кваліфікації «ч.д.а.» у дистильованій воді. Вміст пероксиду водню у плазмохімічно обробленій воді та розчинах визначали за допомогою тест-систем «Merckoquant Peroxide Tests», які дозволяють селективно визначати H_2O_2 у присутності до 100 мг/л хлору або гіпохлорит-іонів. Концентрацію гіпохлорит-іонів визначали методом потенціометричного титрування. Антагоністичні властивості продуктів плазмохімічного оброблення води та водних розчинів $NaCl$, $AgNO_3$, $AgCl$ досліджували у Дніпропетровському обласному лабораторному центрі Держсанепідслужби України.

Мета статті. Головною метою роботи є дослідження хімічних процесів у воді та водних розчинів під дією контактної нерівноважної плазми з подальшим аналізом антибактеріальних властивостей отриманих продуктів реакцій.

Результати та їх обговорення. Плазмохімічне оброблення води: особливості хімічних перетворень у системі плазмовий розряд – рідина.

Нині авторами роботи достовірно встановлено, що при обробці води та водних розчинів контактною нерівноважною низькотемпературною плазмою в системі генерується велика кількість реакційно-здатних частинок – вільних і сольватованих електронів, протонів, радикалів, заряджених і збуджених атомів і молекул [5; 6]. Процеси їх взаємодії відбуваються в нерівноважних умовах, обумовлених нерівноважністю плазмового розряду і необоротністю процесів взаємодії радикальних частинок як у газовій, так і в рідкій фазах. Узагальнюючи перелік хімічних реакцій, що беруть участь у хімічних перетвореннях у результаті плазмового оброблення води, слід зазначити, що всі вони можуть бути представлені в такому вигляді: реакції з: H_2O , OH , O , H , H_2 , O_2 ; HO_2 ; H_2O_2 ; O_3 ; мономолекулярні реакції розпадання іонів H_3O^+ ; хімічні реакції для негативних іонів O_2^- , H^- , O^- , O_2^- ; мономолекулярні реакції розпадання іонів O_2^- , H^- , O^- , O_2^- OH^- ; реакції вивільнення електрона O_2^- , H^- , O^- , O_2^- OH^- ; іон-іонна рекомбінація; процеси зіткнень електронів з малими складовими; хімічні реакції коливально-збуджених молекул H_2O ; хімічні реакції, пов'язані з релаксацією коливальної енергії H_2O .

Отримано окремі кінетичні залежності, що дозволяють оцінити характер змін заряджених частинок під час оброблення КНП хімічно чистої води (рис.).

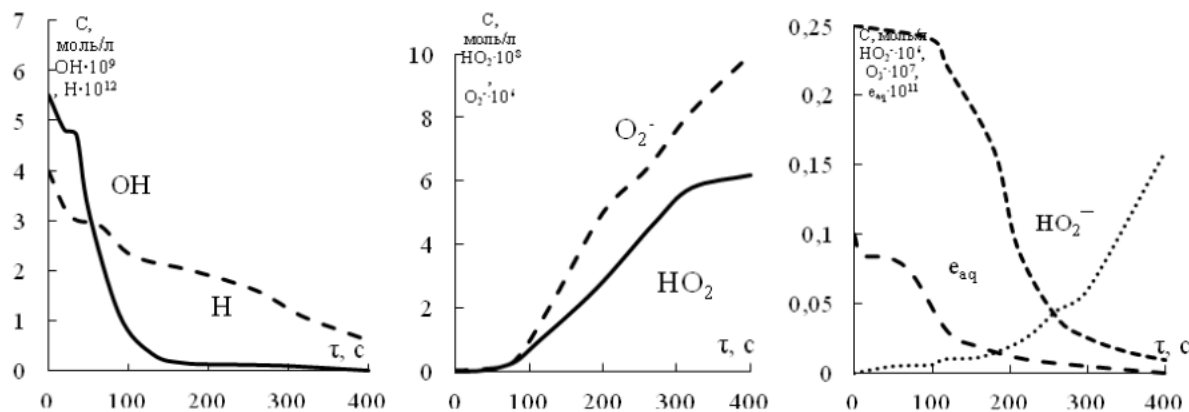


Рис. Зміни концентрацій радикалів H, OH, O₂⁻, HO₂ у процесі плазмового оброблення хімічно чистої води

У табл. 1 наведено виходи окремих компонентів реакційного середовища, у процесі плазмового оброблення водяного середовища.

Таблиця 1

Тепловий ефект і вільна енергія Гіббса реакцій утворення поліоксидів водню

Реакція	ΔH° ,	ΔG° ,	Реакція	ΔH° ,	ΔG° ,
	кДж/моль			кДж/моль	
$2H_2O_2 \rightarrow HO_3H + H_2O$	-4,1	-122,8	$6H_2O_2 \rightarrow HO_7H + 5H_2O$	-196,7	-390,1
$3H_2O_2 \rightarrow HO_4H + 2H_2O$	-55,34	-192,7	$7H_2O_2 \rightarrow HO_8H + 6H_2O$	-248,8	-460,8
$4H_2O_2 \rightarrow HO_5H + 3H_2O$	-102,8	-258,8	$8H_2O_2 \rightarrow HO_9H + 7H_2O$	-295,3	-526,0
$5H_2O_2 \rightarrow HO_6H + 4H_2O$	-156,6	-331,9	$9H_2O_2 \rightarrow HO_{10}H + 8H_2O$	-347,51	-596,9

Відповідно до робіт [5; 7] гідроксил-радикали, утворені в результаті впливу плазмо-хімічного розряду атмосферного тиску, димеризуються з утворенням поліоксидів водню. З використанням термодинамічного підходу було проведено оцінювання ймовірності реалізації різних маршрутів процесу утворення пероксиду водню і його полімерних сполук. На підставі термодинамічних даних були розраховані теплові ефекти реакцій утворення поліоксидів водню при температурі 298 К, а для оцінки ймовірності їх перебігу – вільні енергії Гіббса (табл. 1). Отримані дані свідчать, що процес утворення поліоксидів водню протікає з виділенням тепла, кількість якого збільшується зі зростанням чисельності атомів кисню в молекулі. Оскільки у всіх випадках отримано негативну зміну вільної енергії Гіббса, то це вказує на протікання процесів полімеризації пероксиду водню у водних розчинах з утворенням поліоксидів водню різного складу. Слід зазначити, що збільшення кількості атомів кисню в молекулі полімеру, очевидно, призводить до великих кінетичних ускладнень у процесі полімеризації, пов’язаних зі зростанням стеричних форм і ентропійної складової. Для оцінки достовірності результатів, отриманих термодинамічним методом, проведені експериментальні дослідження.

Встановлено, що в результаті плазмохімічного оброблення води, залежно від умов утворення плазмового розряду, утворюється 100–1000 мг/л пероксидних сполук. Отримані авторами кількісні значення останнього відрізняються від його виходу, розрахованого за законом Фарадея, значно перевершуючи його. Криволінійний характер, зміни швидкості процесу як для водопровідної, так і для дистильованої води означає, що на процес утворення пероксиду водню впливають й інші чинники.

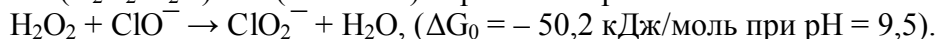
Плазмохімічне оброблення водних розчинів NaCl. Унаслідок досить малих значень енергій активації процесів взаємодії таких радикалів, як H, OH, HO₂, O₂, H₂O, швидкості їх реагування дуже великі і після припинення контактного впливу на розчин плазмового розряду їх зміст швидко зменшується. Слід зазначити, що під час стехіометричного аналізу хімічних перетворень у системі «газ-рідина» в умовах електричного розряду бажано враховувати всі можливі стадії хімічних взаємодій. Послідовність реа-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лізації цих стадій визначає можливі маршрути хімічних перетворень. Підсумовування таких стадій проводять таким чином, щоб підсумкові стехіометричні рівняння не мали проміжні сполуки, якими є, наприклад, радикальні частинки. Тому в плазмохімічно оброблених розчинах хлориду натрію як основні реакційні компоненти слід розглядати відносно стійкі нерадикальних частки продукти окислення і відновлення молекул води й окислення іонів хлору. Також слід враховувати, що в таких редокс-процесах беруть участь іони H^+ і (або) OH^- , зміна кількості яких визначає кислотність розчинів і значною мірою впливає на значення редокс-потенціалів, а значить і на окиснювальну здатність продуктів перетворень, що розглядаються.

Здійснене авторами [8] порівняння даних діаграм Пурбе для хлору і кисню показує, що в розчинах при $pH > 7$ найбільш ймовірними продуктами окислення води і хлорид-іонів є пероксид водню H_2O_2 і гіпохлорит-іони ClO^- (стандартні вільні енергії Гіббса для окисно-відновних напівреакцій становлять відповідно $-233,5$ і $-221,9$ кДж/моль). Вірогідно, що під впливом низькотемпературної плазми в розчинах хлориду натрію генеруються обидва окиснювача. Оскільки вміст молекул води значно вище концентрації хлорид-іонів, то можна очікувати, що вміст H_2O_2 у розчині буде більше, ніж вміст ClO^- . Разом з тим треба враховувати, що молекула H_2O та іон Cl^- значно відрізняються потенціалами іонізації (12,6 і 9 eV) і тому ефективність процесів відриву електрона (як першої стадії їх окиснення) істотно відрізняються. З цього погляду під час плазмохімічного оброблення концентрованих розчинів $NaCl$ можливе більш швидке накопичення ClO^- , ніж H_2O_2 . На підставі вищезазначеного нами запропоновано схему хімічних перетворень, що відображає накопичення та взаємодію обох окисників.

За умови: $E(H_2O_2/H_2O) > E(ClO^-/Cl^-)$ переважно протікає окиснення ClO^- :

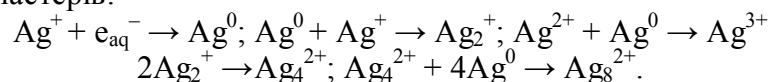


А за умови: $E(H_2O_2/H_2O) < E(ClO^-/Cl^-)$ окисненню піддається H_2O_2 :



Розглянута схема змін концентрацій окисників і ОВП розчинів $NaCl$ дозволяє пояснити експериментальні дані, представлені на рисунку. Авторами [8] встановлено, що синтез окисників способом плазмового оброблення водних розчинів натрію хлориду оптимально проводити за атмосферного тиску, оскільки забезпечується достатньо високий вихід сумарної концентрації окисників при найбільшій кількості натрію діоксохлорату (III) як найбільш цінного продукту синтезу. Вміст натрію хлориду повинен становити 3 г/л, адже це оптимальна концентрація, за якої сумарна концентрація таких окисників, як H_2O_2 і ClO_2^- відносно вища, ніж у разі використання розчинів з більшими чи меншими концентраціями $NaCl$.

Плазмохімічне оброблення водних розчинів нітрату та хлориду срібла. Авторами роботи [9] встановлено ефективність використання КНП для одержання наночастинок срібла (НЧ) з водних розчинів $AgNO_3$ та $AgCl$ без додаткового введення відновників. Встановлено, що утворенню НЧ срібла передують ряд проміжних стадій утворення стійких малих кластерів, злипання яких приводить до утворення квазіметалічних та нанорозмірних частинок. Зокрема, нейтральні атоми Ag^0 та іони Ag^+ формують таке сімейство «магічних» кластерів:



За допомогою УФ-спектроскопії у плазмохімічно оброблених розчинах фіксують пік поверхневого плазмонного максимуму поглинання при 400–420 нм, що є характерним для сферичних наночастинок срібла. Встановлено, що колоїдні розчини, отримані з нітрату срібла, за інших рівних умов, характеризуються більш вузьким розподілом частинок за розмірами. Отримані дані, вірогідно, зумовлені більшою окиснювальною здатністю

то перхлорат-іонів щодо інтермедіатів срібла: ($E^\circ(\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+/\text{Cl} + 4\text{H}_2\text{O}) = 1,38 \text{ В}$) у порівнянні з нітрат-іонами $E^\circ(2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+/\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}) = 1,25 \text{ В}$. Результатом окислення є формування меншої кількості інтермедіатів, які згодом утворюють частки більшого розміру. Технологічно доцільним є плазмохімічне оброблення розчинів нітрату срібла з вихідною концентрацією 0,5 г/л ($\tau = 10 \text{ хв}$; $I = 120 \text{ мА}$), що забезпечує отриманих часток срібла розміром від 7 до 50 нм.

Застосування плазмохімічно обробленої води та водних розчинів NaCl, AgNO₃, AgCl для знезараження питної води. Було досліджено антагоністичну дію хімічного перекису водню на тест культури в концентраціях наближених до наявних у плазмохімічно обробленій воді. Отримані дані свідчать про відсутність антагоністичної дії водного розчину синтетичного пероксиду водню з концентрацією 10–100 мг/л, незначна антагоністична дія синтетичного водного розчину з концентрацією 500 мг/л і більш стабільна з концентрацією 1000 мг/л. У табл. 2 наведено дані антибактеріальної активності плазмохімічно обробленої води (параметри обробки води ($\tau = 20 \text{ хв}$; $C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 500 \text{ мг/л}$; $\text{pH} = 6,4$; $I = 130 \text{ мА}$) та розчинів NaCl ($\tau = 10 \text{ хв}$; $I = 120 \text{ мА}$; $C_{\text{NaCl}} = 3 \text{ г/л}$) порівняно зі штучно приготованим водним розчином лізоформіну, стериліуму.

Таблиця 2

Антагоністична дія плазмохімічно обробленої води та розчинів NaCl

№ п/п	Мікроорганізми	Величина зони затримки зростання мікроорганізмів, мм					
		Лізоформ, %			Стериліум	Плазмохімічно оброблена	
		1,0	1,5	2,0		Вода	Розчин NaCl
1	<i>Staphylococcus aureus</i>	20	23	24	13	20	10,5
2	<i>Staphylococcus saprophibicus</i>	13	14	16	8	10	10
3	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	20	24	25	11	13,5	11
4	<i>E.coli</i>	15	14	17	8	12,5	9
5	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10	14	14	8	12	10
6	<i>Candida albicans</i>	20	19	20	13	11	11
7	<i>Streptococcus pyogenes</i>	15	16	16	20	8	8
8	<i>Proteus vulgaris</i>	20	25	26	34	14	9

Аналіз отриманих даних табл. 2 свідчить, що плазмохімічно оброблена вода та плазмохімічно оброблений розчин NaCl є активними щодо подавляючої дії на певні мікроорганізми. Одним з можливих механізмів дії плазмохімічно обробленої води та водних розчинів NaCl на бактерії є зміна зовнішніх поверхонь клітки, що робить доступним рецептори для реактогенних ензимів, наприклад, лізоцину. Окисні сполуки, що містяться в обробленій воді та розчинах хлориду натрію, викликають у мікроорганізмів руйнування поверхневої структури та внутрішніх мембран. Цільність цитоплазмової мембрани руйнує роботу цілого переліку пов'язаних з мембраною ферментів, наприклад, дегідрогінез, та знижує ефективність роботи систем репарації ДНК.

Досліджено антагоністичну дію колоїдних розчинів наночастинок срібла різної концентрації, отриманих плазмохімічним способом, проти кишкової палички (*E.coli*) (табл. 3).

Таблиця 3

Антагоністична дія плазмохімічно оброблених розчинів AgNO₃ та AgCl

Концентрація, г/л	Затримка росту, %	
	AgNO ₃	AgCl
0,085	18 (±5)	6 (±4)
0,2	31 (±6)	24 (±5)
0,5	57 (±8)	36 (±6)

Встановлено, що наночастки срібла обох прекурсорів інгібують ріст кишкової палички *E.coli* за різних концентрацій. Проте слід зазначити, що за однакових умов плазмохімічного одержання наночастинок срібла з водних розчинів прекурсорів ($\tau = 10 \text{ хв}$; $I =$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

120 мА) інгібуюча дія часток, отриманих з прекурсорю AgNO_3 є вища майже в два рази і становить 18–57 %.

Висновки. Встановлено, що застосування контактної нерівноважної низькотемпературної плазми як інструменту впливу на воду та водні розчини NaCl , AgNO_3 , AgCl сприяє фізико-хімічним перетворенням з утворенням продуктів, що мають антагоністичну дію на мікроорганізми. Запропоновано схеми хімічних перетворень у воді та водних розчинах NaCl , AgNO_3 , AgCl під дією плазмового розряду. Встановлено підвищену антагоністичну дію отриманих продуктів плазмохімічного синтезу на певні мікроорганізми (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus saprophibicus*, *Staphylococcus epidermidis*, *E.coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* та ін.) порівняно з існуючими дезінфікуючими розчинами (лізоформ, стериліум).

Список використаних джерел

1. *Соціо-еколого-економічні проблеми водопостачання в Україні* / О. М. Маценко, О. Ю. Чигрин, В. І. Тарановський, А. І. Долгодуш // Механізм регулювання економіки. – 2011. – № 4. – С. 264–271.
2. *Tendero C. Atmospheric pressure plasmas: A review* / C. Tendero, C. Tixier, P. Tristant, J. Desmaison // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2006. – Vol. 61 (1). – Pp. 2–30.
3. *Kaneko T. Static gas-liquid interfacial direct current discharge plasmas using ionic liquid cathode* / T. Kaneko, K. Baba, R. Hatakeyama // *Journal of Applied Physics*. – 2009. – Vol. 105 (10). – Pp. 103–306.
4. *Ostrikov K. Plasma nanoscience: setting directions, tackling grand challenges* / K. Ostrikov, U. Svelbar, A. B. Murphy // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2011. – № 44 (17). – Pp. 1–60.
5. *Contact nonequilibrium plasma as a tool for treatment of water and aqueous solutions: Theory and practice* / A. A. Pivovarov, A. V. Kravchenko, A. P. Tishchenko, N. V. Nikolenko, O. V. Sergeeva, M. I. Vorobeva, S. V. Treshchuk // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2015. – Vol. 85, № 5. – Pp. 1339–1350.
6. *Півоваров О. А. Використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми в гідрометалургійній промисловості : монографія* / О. А. Півоваров, М. І. Скиба. – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2015. – 206 с.
7. *Півоваров А. А. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов* / А. А. Півоваров, А. П. Тищенко. – Днепропетровск : Грек, 2006. – 225 с.
8. *Pivovarov O. Treating aqueous solutions of sodium chloride by nonequilibrium low temperature plasma* / O. Pivovarov, R. Zakharov, M. Nikolenko // *Chemistry & Chemical Technology*. – 2015. – Vol. 9, № 1. – Pp. 95–99.
9. *Воробйова М. І. Формування колоїдних наночасток срібла з водних розчинів AgNO_3 під дією контактної нерівноважної плазми* / М. І. Воробйова, О. А. Півоваров // Вісник ЧДТУ. – 2014. – № 4. – С. 39–44.

References

1. Matsenko, O.M., Chyhryn, O.Yu., Taranovskyi, V.I., Dolhodush, A.I. (2011). *Sotsio-ekoloho-ekonomichni problemy vodopostachannia v Ukraini* [Socio-ecological-economic challenges of water supply in Ukraine]. *Mekhanizm rehuliuвання ekonomiky – Mechanism of Economic Regulation*, no. 4, pp. 264–271 (in Ukrainian).
2. Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*, vol. 61 (1), pp. 2–30.
3. Kaneko, T., Baba, K., Hatakeyama R. (2009). Static gas-liquid interfacial direct current discharge plasmas using ionic liquid cathode. *Journal of Applied Physics*, vol. 105 (10), pp. 103–306.
4. Ostrikov, K., Svelbar, U., Murphy A. B. (2011). Plasma nanoscience: setting directions, tackling grand challenges. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, no. 44 (17), pp. 1–60.
5. Pivovarov, A.A., Kravchenko, A.V., Tishchenko, A.P., Nikolenko, N.V., Sergeeva, O.V., Vorobeva, M.I., Treshchuk, S.V. (2015). Contact nonequilibrium plasma as a tool for treatment of water and aqueous solutions: Theory and practice. *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 85, no. 5, pp. 1339–1350.

6. Pivovarov, O.A., Skyba, M.I. (2015). *Vykorystannia kontaktnoi nerivnovazhnoi nyzkotemperaturnoi plazmy v hidrometalurhiinii promyslovosti* [Application the contact nonequilibrium low-temperature plasma in hydrometallurgical industry]. Dnipropetrovsk: Aktsent PP (in Ukrainian).

7. Pivovarov, A.A., Tishchenko, A.P. (2006). *Neravnovesnaia plazma protsessy aktivatsii vody i vodnykh rastvorov* [The nonthermal plasma: the activation of the processes of water and aqueous solutions]. Dnepropetrovsk: Grek (in Russian).

8. Pivovarov, O., Zakharov, R., Nikolenko, M. (2015). Treating aqueous solutions of sodium chloride by nonequilibrium low temperature plasma. *Chemistry & Chemical Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 95–99.

9. Vorobiova, M.I., Pivovarov, O.A. (2014). Formuvannia koloidnykh nanochastok sribla z vodnykh rozchyniv AgNO₃ pid diieiu kontaktnoi nerivnovazhnoi plazmy [Formation of the colloid silver nanoparticles from aqueous solutions AgNO₃ under the influence of the contact nonequilibrium plasma]. *Visnyk ChDTU – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 4, pp. 39–44 (in Ukrainian).

Скиба Маргарита Іванівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри технології неорганічних речовин та екології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49053, Україна).

Скиба Маргарита Ивановна – кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии неорганических веществ и экологии, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49053, Украина).

Skiba Margarita – PhD in Technical Sciences, assistant of the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, State Higher Educational Institution “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarin Av., 49053 Dnepropetrovsk, Ukraine).

E-mail: Rita-vorobyova@yandex.ru

Півоваров Олександр Андрійович – доктор технічних наук, професор, ректор, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49053, Україна).

Пивоваров Александр Андреевич – доктор технических наук, профессор, ректор, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49053, Украина).

Pivovarov Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of the State Higher Educational Institution “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarin Av., 49053 Dnepropetrovsk, Ukraine).

E-mail: apivo@fm.ua

Макарова Анна Костянтинівна – аспірант кафедри технології неорганічних речовин та екології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49053, Україна).

Макарова Анна Константиновна – аспирант кафедры технологии неорганических веществ и экологии, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49053, Украина).

Makarova Anna – PhD student of Inorganic Substances Technology and Ecology, State Higher Educational Institution “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarin Av., 49053 Dnepropetrovsk, Ukraine).

E-mail: anmak123@mail.ru

Воробійова Вікторія Іванівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Воробийова Виктория Ивановна – кандидат технических наук, ассистент кафедры физической химии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Vorobyova Victoria – PhD in Technical Sciences, assistant of Physical Chemistry Department, National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: viktorkathebest@yandex.ru

Гнатко Олена Миколаївна – старший викладач кафедри прикладної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49053, Україна).

Гнатко Елена Николаевна – старший преподаватель кафедры прикладной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49053, Украина).

Gnatko Elena – Senior Lecturer, Department of Applied Mechanics, State Higher Educational Institution “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarin Av., 49053 Dnepropetrovsk, Ukraine).

E-mail: i-gen@mail.ru

Валентин Нехай, Віталій Литвинов

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ

Валентин Нехай, Віталій Литвинов

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СОСТОЯНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

Valentyn Nekhai, Vitaliy Litvinov

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF INFORMATION TECHNOLOGIES OF MODELLING AND FORCASTING OF SOIL FERTILITY STATE

Розглянуто окремі історичні аспекти щодо застосування інформаційних технологій прогнозування стану родючості ґрунту на основі математичного моделювання агроєкосистем.

Ключові слова: інформаційні технології, прогнозування, математичне моделювання, математичні моделі, родючість ґрунту.

Рис.: 1. Бібл.: 21.

Рассмотрены отдельные исторические аспекты использования информационных технологий прогнозирования состояния почвы на основе математического моделирования агроэкоцистем.

Ключевые слова: информационные технологии, прогнозирование, математическое моделирование, математические модели, плодородие почвы.

Рис.: 1. Библ.: 21.

The present article deals with individual historical aspects of applying information technologies to forecast soil state on the basis of the agricultural and ecological system of mathematical modelling.

Key words: information technologies, forecasting, mathematical modelling, mathematical model, soil fertility.

Fig.: 1. Bibl.: 21.

Постановка проблеми. Землеробство як вид господарської діяльності виникло багато століть тому. Пріоритет розвитку землеробства і на сьогодні зумовлюється тим, що для його здійснення людство використовує унікальні явища природи: земельні ресурси, фотосинтетичні властивості рослин перетворювати сонячну енергію в хімічну. При цьому не витрачаючи на це значних фінансових ресурсів, а в результаті отримуючи продукти харчування.

У зв'язку зі збільшення населення планети для задоволення продовольчих потреб відбувається інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, що призводить до погіршення якості сільськогосподарських земель. Тому постає питання посилення заходів з відновлення земель, що означає розроблення стратегії використання сільськогосподарських земель, спрямовану не тільки на отримання поточного врожаю, а і з метою збереження та відновлення якісних показників ґрунту.

Під дією природних і антропогенних факторів ґрунт змінює свій якісний стан і така зміна негативно впливає на ефективну родючість сільськогосподарських земель. Тому одним з головних завдань сучасної державної політики у сфері землекористування є забезпечення раціонального використання та охорони продуктивних земель на основі його екологізації, охорони і захисту землі як складової навколишнього природного середовища, збереження, примноження і відтворення її продуктивної сили як ресурсу.

Одним із запобіжних заходів негативному впливу є використання автоматизованих систем в управлінні станом ґрунтів, що підвищить ефективність формування рішень в умовах складності, невизначеності та нестационарності процесу. Вирішення такого завдання неможливе без створення адекватних інформаційних технологій моделювання та прогнозування стану родючості ґрунту, які б достатньою мірою відображали причинно-наслідковий характер процесів, що протікають в об'єктах природокористування під дією природних і антропогенних факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Родючість ґрунту як одна з найбільш ґрунтовних природних функцій, яка забезпечує формування біологічних активів, характеризується значною часовою та просторовою мінливістю. Вплив факторів на стан ґрунту досліджували такі науковці, як: П. О. Костичев, В. Р. Вільямс, Д. М. Прянишников, К. К. Гедройц, О. М. Соколовський.

Перші роботи з використання методу математичного моделювання були розпочаті в 20–40-х роках Є. М. Гапоном, В. П. Гортіковим, М. М. Веригінім. Починаючи з 60-х років ХХ ст. економіко-математичному моделюванню присвячено значну кількість наукових публікацій, серед яких найбільшій увазі заслуговують наукові надбання вчених: М. Є. Браславця, А. М. Гатауліна, А. А. Горелова, Д. М. Гвішані, Дж. Джефферса, Ю. А. Дубова, Р. Г. Кравченка, М. І. Лукачева, К. Д. Льюїса, Я. Г. Неуйміна, Л. І. Поліщука, В. В. Розена, Б. К. Скірти, Дж. Франса, О.С. Фрида, Дж. Торнлі та багатьох ін.

Математичне моделювання продукційного процесу сільськогосподарських культур розглядалося М.Ф. Бондаренко, Е.Е. Жуковським, І.Г. Мушкіним, Р.О. Полуектовим та іншими.

Моделі управління родючістю розглядали: В. М. Бельченко, Д. М. Дурманов, І. І. Карманов, В. А. Светов, Л. І. Шишов та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Різноманітність ґрунтів за генезисом, гранулометриєю і зволоженням обумовлює строкатість земельних ресурсів за властивостями і родючістю. За 50 років після закінчення великомасштабних обстежень земельних ресурсів дослідження 1957–1961 рр. показали, що ґрунтовий покрив зазнав змін [1]. У зв'язку з цим результати якісного оцінювання ґрунтів за родючістю в Україні не відповідають повною мірою реальному стану. Для вирішення цієї проблеми необхідно впроваджувати у структуру системи управління сільськогосподарськими підприємствами новітні інформаційні технології, які ґрунтуються на сучасних даних про стан ґрунтів, що забезпечить достовірне отримання, збереження, обробку даних і підтримку процесів прийняття технологічних рішень з питань підвищення якості ґрунту, доцільності й строків сівби сільськогосподарських культур, норм і строків внесення добрив, поливу тощо.

Мета статті. Проведення науково-історичного аналізу становлення та розвитку інформаційних технологій моделювання та прогнозування стану ґрунту для вирішення наукових проблем раціонального використання земельних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. В історії розвитку землеробства науковці висловлювали різні погляди щодо природи родючості ґрунту та факторів, що впливають на її стан. Кінець XVIII століття – початок XIX ст., характеризується превалюванням теорії німецького науковця, ґрунтознавця А. Теєра, згідно з якою основою родючості ґрунту є вміст у ньому гумусу. В середині XIX ст. Ю. Лібіх, один із засновників агрономічного ґрунтознавства, розробив теорію мінерального живлення рослин, за якою родючість ґрунту обумовлювалась вмістом у ньому мінеральних поживних речовин, що стало основою для виробництва та широкого використання мінеральних добрив. Такої ж думки дотримувався французький учений Ж. Б. Бусенго, підкреслюючи значну роль азотного живлення рослин як фактора підвищення родючості ґрунту.

Велику увагу вмісту в ґрунті органічних речовин та його фізичним властивостям, зокрема структурі, приділяв російський мікробіолог та геоботанік П. А. Костичев. В. Р. Вільямс визнавав головною ознакою родючості ґрунту лише його структуру.

Д. М. Прянишников вважав, що структура та інші фізичні властивості ґрунту є головною ознакою, яка характеризує родючість ґрунту та забезпечує рослини поживними речовинами. Внесення органічних, мінеральних добрив та використання як сидератів бобових рослин, на думку вченого, слугує підвищенню родючості ґрунту.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

К. К. Гедройц, О. Н. Соколовський наголошували, що значну роль у створенні ґрунтової родючості відіграють найбільш дисперсні часточки – ґрунтові колоїди.

Традиційно всі процеси, що протікають в агроекосистемах, вивчалися в сукупності агрономічних наук, таких як землеробство, агрохімія, рослинництво, захист рослин, залишаючись в основному на якісному (описовому) рівні. Це значною мірою було обумовлено як значною складністю цих процесів, так і відсутністю фундаментальних знань у галузі ґрунтознавства (фізики ґрунтів), фізіології та біохімії рослин. У результаті цього всі технологічні рекомендації також носили якісний характер, а окремі кількісні вказівки, наприклад щодо застосування рекомендованих доз добрив або зрошувальних норм, часто призводили навіть до негативних або до непрогнозованих результатів.

Значний поштовх у розвиток фізичної хімії ґрунтів дало використання методу математичного моделювання, яке було розпочато в 20–40-х роках. Є. М. Гапон [2] запропонував одну з перших термодинамічних моделей катіонного обміну в ґрунтах, ввів оригінальну модель для опису неоднорідності іонообмінних властивостей ґрунтів [3]. В. П. Гортіковим було запропоновано математичний опис впливу реакції ґрунтового розчину на його обмінну здатність [4]. Перша модель фільтраційної, або конвективної дифузії у ґрунтах була запропонована М. М. Верігінін [5].

Розкриття механізмів масопереносу і масообміну в ґрунтах і їх математичне моделювання дали можливість розробити й обґрунтувати широкий спектр способів меліорації ґрунтів і технологічних прийомів вирощування сільськогосподарських культур.

Але слід зазначити, що у процесі використання моделей фізичної хімії у ґрунтознавстві виникає проблема, пов'язана з неминучістю доповнення фундаментальних рівнянь емпіричними і напівемпіричними співвідношеннями, застосування яких обмежено деякими діапазонами значень змінних стану досліджуваних систем [6].

Відмінність культур, що характеризується врожайністю, стійкістю і якістю врожаю, стан ґрунту, в аспектах деградації та забруднення, стан навколишнього середовища, різна складність управління, обумовлена розмірами території та рівня родючості ґрунту, створюють об'єктивну неможливість розробки універсальної моделі.

Все вищенаведене обумовлює необхідність формування системи моделей та їх класифікації. Д. М. Гвішіані формулює це як принципи багатомодельного опису досліджуваних процесів та явищ [7]. О. С. Фрід пропонує таку класифікацію описових моделей [8].

Перша класифікація моделей ґрунтується на елементах родючості (ресурси, механізми) та вирішуваним завданням, що передбачає розподіл моделей на інформаційні та моделі управління. Перші являють собою сукупність наших знань про родючість і дають можливість їх впорядкувати. Моделі управління, крім інформації про родючість, дають можливість приймати рішення для завдань господарської діяльності, тобто цілеспрямованої зміни компонентів родючості ґрунту для досягнення бажаного результату.

Інформаційні моделі родючості є розвитком відомого трикутника Д. М. Прянишникова ґрунт-рослина-добриво і дають формалізований опис його компонентів і зв'язків між ними.

У моделях управління родючістю при слабких порушеннях екосистеми (ґрунту) об'єкт управління вже існує. У процесі управління не повинно відбуватися істотних змін основних структурно-функціональних характеристик [9]. При сильних порушеннях екосистеми (ґрунту) управління спрямоване на створення нового об'єкта з якісно іншими характеристиками, а потім здійснюється його виведення на заданий рівень функціонування. Головні вимоги, що висувуються до моделей управління родючістю ґрунтів, – їх реалізованість і економічна ефективність.

Використання моделей стану родючості та динамічних моделей створює певні гарантії для реалізації завдань управління. Вибір різних моделей стану (шкали забезпечено-

сті, комплексні моделі забезпеченості, моделі круговороту й балансу) впливає на складність моделі управління. У 80–90-х роках ХХ століття в управлінні використовуються, в основному, найпростіші однофакторні моделі [10].

Більшість пропонованих у той час моделей управління носить характер рекомендацій щодо досягнення деяких заданих цілей (стану родючості, врожайності тощо). Таким чином, можна визначити два етапи моделювання управління родючістю ґрунтів, які умовно можна назвати «рекомендаційним» і «оптимізаційним». На думку В. А. Сіднеєва, у моделях слабо опрацьовуються альтернативні варіанти управління, недостатньо ясні концепції багатокритеріального управління, коли треба враховувати і економічну ефективність [11].

Друга класифікація моделей родючості відноситься до тимчасових меж моделей родючості. Моделі довгострокові характеризують багаторічні явища, середньострокові – сільськогосподарський сезон, рік, короткострокові - характеризують етап розвитку рослин і більш короткі періоди. Для моделей стану родючості та статичних моделей управління тимчасові межі вказуються тільки в показниках прив'язки моделі. У динамічних моделях час, крім того, використовується безпосередньо як змінний показник. Середньострокові моделі доцільно прив'язувати до різних типів погодних умов [12].

Третя класифікація відноситься до територіальних меж моделей родючості (області їх екстраполяції) і відповідає традиційній практиці ґрунтознавства у галузі картографування і районування. Серед них розрізняють моделі глобальні, що застосовуються до всієї території земної суші, або до території великих країн. Моделі регіональні відносяться до обмежених територій (ландшафтів) з близькими характеристиками клімату і рельєфу [9].

Четверта класифікація моделей родючості пов'язана з формою подання моделі: таблиця, у вигляді формул, графічна, програма для ЕОМ [13].

Початок ХХІ століття характеризується великою кількістю інформації про навколишнє середовище і визначити обсяг існуючої інформації, а тим більше контролювати всі інформаційні потоки неможливо, на допомогу людству прийшли інформаційні технології, які посіли своє місце практично в усіх сферах життя людини, у тому числі й агропромисловому секторі.

Під поняттям «інформаційні технології» розуміють сукупність засобів і методів інформаційних процесів, зокрема отримання, обробки, зберігання, передачі інформації з використанням технічних і програмних засобів.

Використання сучасних інформаційних технологій забезпечує оперативний збір, оброблення, збереження та поширення геопросторової інформації про структуру площ, стан і продуктивність сільськогосподарських угідь, що у свою чергу допомагає вирішувати питання, пов'язані з прогнозуванням обсягів виробництва та формуванням цін на ринках сільськогосподарської продукції.

Оцінювання поточного стану сільськогосподарських культур проводиться за допомогою тематичної інтерпретації даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що потребує апріорного встановлення зв'язків між спектральними характеристиками посівів (спектральна яскравість, вегетаційні індекси) та фізіологічними параметрами стану посівів (біомаса, густина стояння, листовий індекс, забезпеченість вологою та основними елементами живлення, ступінь враження шкідниками та хворобами).

Дистанційне зондування Землі (Remote Sensing of Earth) розглядається як метод отримання інформації про об'єкти на земній поверхні, а також про процеси та явища, що відбуваються на ній. Залежно від способу розміщення реєструючих пристроїв методи ДЗЗ класифікуються на: наземні, авіаційні та космічні. Незважаючи на певні відмінності, всі вони мають спільну рису – одержання інформації відбувається завдяки реєст-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

рації електромагнітного випромінювання, що відбивається від об'єктів дослідження, або випромінюється земною поверхнею.

До переваг методів ДЗЗ слід віднести:

- отримання інформації відбувається без будь-якого втручання в об'єкт дослідження;
- методи ДЗЗ характеризуються здатністю одночасно отримувати інформацію з великих площ;
- сенсори, що використовуються в системах ДЗЗ, здатні реєструвати електромагнітні випромінювання у багатьох діапазонах спектра (видимому, інфрачервоному, мікрохвильовому та радіодіапазоні), що значно підвищує їх інформативність та розширює коло вирішуваних задач.

Також слід відзначити наявні обмеження застосування методів ДЗЗ [14]:

- наявність певної частини поверхні землі при зондуванні, «закритих» метеорологічними та іншими явищами на момент зйомки, що можуть закривати поверхню ґрунту;
- багатofакторність формування дистанційного зображення ґрунтів;
- обмежений набір ґрунтових параметрів, які можуть безпосередньо визначатися методами ДЗЗ;
- пріоритет емпіричних робочих моделей над теоретично узагальнюючими;
- можлива наявність технічних шумів при дистанційній зйомці.

Також заслуговує на увагу сучасна комп'ютерна технологія «Географічна інформаційна система» (Geographic Information System), яка слугує для картографування та аналізу об'єктів реального світу, а також подій, що відбуваються на земній кулі. Ця технологія поєднує традиційні операції роботи з базами даних (запит, статистичний аналіз) та забезпечує повноцінну візуалізацію і проведення просторового аналізу. Ці можливості відрізняють ГІС від інших інформаційних систем і забезпечують унікальні можливості для її застосування у широкому спектрі задач, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ та подій, їх можливих наслідків, розробленням стратегічних рішень.

Розвиток геоінформатики змінює зміст та технологію управління станом родючості ґрунту, в тому числі питання моніторингу за станом земельних ресурсів, картування ґрунтів, землевпорядні роботи тощо.

Система моніторингу стану агроресурсів та прогнозування урожайності (СМАПУ) – це складна багатоскладова інформаційна система, яка здатна в оперативному режимі надавати відомості про поточний стан та майбутню урожайність сільськогосподарських культур на певних площах.

Залежно від розміру контрольованої системою території розрізняють СМАПУ локального, регіонального та національного (або транснаціонального) рівнів.

Прикладом СМАПУ регіонального рівня є система KARS, розроблена регіональним Центром використання наук про Землю в межах Програми прикладного використання даних ДЗЗ штату Канзас (США).

Найбільш відомими СМАПУ національного (або транснаціонального) рівнів є система FAS/PECAD, створена Підрозділом обстеження та оцінки продуктивності сільськогосподарських культур Закордонної сільськогосподарської служби Департаменту сільського господарства США та європейська система MCYFS — (система прогнозування врожайності посівів на базі програми MARS), яка почала працювати в оперативному режимі з 2002 року.

Окремі елементи СМАПУ локального рівня використовуються в дослідному господарстві корпорації "АГРО-СОЮЗ" (Синельниківський район Дніпропетровської області).

Сьогодні дистанційне зондування Землі і ГІС тісно пов'язані між собою: на основі дешифрування знімків створюється електронна карта, яка є основою будь-якої геоінформаційної системи.

Як зазначає І. К. Лур'є, за допомогою ГІС здійснюється всебічне вирішення багатьох завдань, пов'язаних з просторовим аналізом інформації і прогнозом явищ та обґрунтуванням головних чинників і причин, а також їх можливих наслідків, і прийняття на основі цього конструктивних рішень [15].

Оцінювання екологічного стану довкілля на основі комплексу комп'ютерних екологотехногеохімічних карт значною мірою носить суб'єктивний характер. Тому постало питання розроблення науково обґрунтованого методу оцінювання стану довкілля на основі нечіткої логіки [16].

Методи теорії нечітких множин і нечіткої логіки (fuzzy logic) [17] дають можливість описувати якісні, неточні поняття і наші знання про навколишній світ, а також оперувати цими знаннями з метою отримання нової інформації. Нечітка логіка, більш природно, описує характер людського мислення і хід його висновків, ніж традиційні логіко-формальні схеми. Тому використання математичних засобів для представлення нечіткої початкової інформації дає можливість отримувати моделі, які адекватно відтворюють різні аспекти невизначеності, які постійно виникають під час оцінювання екологічного стану довкілля.

Формалізація нечітких знань і процес здійснення нечітких висновків ґрунтується на правилі нечіткої продукції, під яким у загальному випадку розуміють вираз [18]:

$$(i) : Q; P; A \Rightarrow B; S; F; N , \quad (1)$$

де (i) – ім'я нечіткої продукції;

Q – сфера застосування нечіткої продукції;

P – умова застосування ядра нечіткої продукції;

A – умова ядра (антецедент);

B – висновок ядра (консеквент);

\Rightarrow – знак логічної секвенції (висновку);

S – метод або спосіб визначення кількісного значення степені істинності висновку ядра;

F – коефіцієнт визначеності або упевненості нечіткої продукції;

N – післямова продукції.

Також до перспективних напрямів застосування інформаційних технологій управління земельними ресурсами є використання в моделюванні штучних нейронних мереж. Ефективність застосування штучних нейронних мереж полягає в тому, що вони являють собою потужний інструмент апроксимації та можуть бути використані в тих випадках, коли всі інші методи не підходять.

Оскільки для апроксимації достатньо певного набору експериментальних даних, необхідних для навчання нейромережі, то не потрібно задавати структуру функціональної залежності, що пов'язує вхідні та вихідні змінні.

Всі задачі, які може вирішувати штучна нейронна мережа, зводяться до апроксимації багатовимірної функції, тобто побудови відображення [19]:

$$F : x \rightarrow y \quad (2)$$

Залежно від того, яка активізаційна функція вибрана, це відображення реалізує один із типів задач, що може вирішувати нейронна мережа. Сформовану задачу (2) теж можна звести до реалізації деякого відображення:

$$C \rightarrow (X, Y) \quad (3)$$

У результаті відображення (2) необхідно забезпечити не лише формування адекватних вихідних сигналів згідно з усіма прикладами навчальної вибірки, але й з усіма можливими вхідними сигналами, які не ввійшли до навчальної вибірки.

Як зазначає В. В. Круглов, функціональні можливості штучних нейронних мереж залежать від їх структури, тобто від кількості шарів і нейронів у кожному шарі мережі, а також визначення необхідних зв'язків між шарами [20].

Основними факторами, що визначають родючість ґрунту, є запаси гумусу, достатній вміст поживних речовин і вологи, оптимальні тепловий і повітряний режими, біопродуктивність земельних угідь тощо.

Проблемою є те, що на сьогодні наявна інформація про якісний склад земельних ресурсів України базується на матеріалах великомасштабних досліджень ґрунтів 1957–1961 рр. та частково на результатах їх коригувань у 70–80-х роках минулого століття, що обумовлює її моральну та фізичну застарілість та ускладнює виявлення емпіричних залежностей під час побудови моделей прогнозування стану ґрунтів. Це у свою чергу вимагає пошуку нових інформаційних технологій та методичних підходів до побудови математичних моделей прогнозування родючості ґрунту.

Таким чином, на сучасному етапі основою побудови інформаційних технологій моделювання стану родючості ґрунту є моніторинг ґрунтів земель сільськогосподарського призначення, що передбачає виконання таких завдань [21]:

- проведення спостережень, збір, аналіз і опрацювання інформації щодо якісного стану ґрунтів (розвиток ґрунтової ерозії, стан структури ґрунту, підкислення, засолення, солонцюватість, заболочення ґрунтів, динаміка вмісту гумусу й елементів живлення), забруднення ґрунтів важкими металами, радіонуклідами, залишковими кількостями пестицидів та іншими токсичними речовинами;
- здійснення комплексного аналізу агроекологічної ситуації на землях сільськогосподарського призначення, оцінки та прогнозу можливих змін стану родючості ґрунтів з урахуванням природних і антропогенних факторів, еколого-меліоративного стану зрошуваних і осушуваних земель;
- розроблення і впровадження науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття рішень про попередження та ліквідацію наслідків негативних процесів та заходів щодо забезпечення відтворення родючості ґрунтів;
- створення та ведення інформаційних баз даних про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення та інформаційно-аналітичної системи для розроблення заходів у сфері охорони та управління родючістю ґрунтів (рис.).

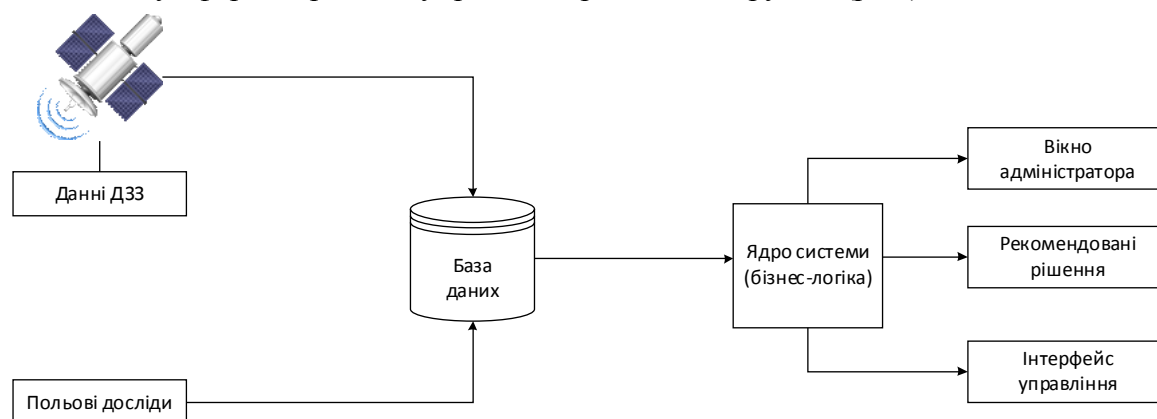


Рис. Структурна схема автоматизованої системи управління станом ґрунту

Моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення здійснюється за допомогою:

- аналізу та узагальнення архівного (базового) фонду даних;
- ґрунтово-агрохімічного та еколого-меліоративного (суцільних і вибіркового) обстежень ґрунтів, агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення;
- функціонування мережі стаціонарних ділянок та польових дослідів, на яких ведуться спеціальний, кризовий та науковий моніторинг ґрунтів і забезпечуються комплексні дослідження, контроль за властивостями ґрунтів, розроблення прогностичних моделей та ґрунтозахисних технологій;

– використання даних дистанційного зондування та глобальної системи визначення місцезнаходження досліджуваних ділянок.

Проведення моніторингу ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення здійснюється в такому порядку:

– проведення ґрунтово-агрохімічного обстеження та агрохімічної паспортизації земельних ділянок;

– проведення комплексних та спеціальних спостережень на стаціонарних контрольних ділянках за станом ґрунтів з метою вивчення процесів трансформації та міграції біогенних і хімічних речовин у ґрунтах, а також розроблення прогностичних моделей;

– ведення польових дослідів, на яких забезпечуються комплексні дослідження властивостей ґрунтів, їх родючості (з урахуванням кількості та якості рослинницької продукції), ефективності застосування мінеральних добрив, хімічних меліорантів та інших агрохімікатів, а також розробляються ґрунтозахисні технології;

– створення та ведення інформаційних баз даних про стан ґрунтів та інформаційно-аналітичної системи для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття рішень про відвернення та ліквідацію наслідків негативних процесів, планування ґрунтозахисних та інших заходів у сфері охорони родючості ґрунтів;

– проведення комплексного аналізу та оцінювання змін якісного стану ґрунтів; виявлення негативних явищ і кризових територій, обґрунтування, планування заходів щодо їх усунення та підвищення родючості ґрунтів.

У повному варіанті інформаційна система підтримки прийняття рішень у сільськогосподарських підприємствах, повинна включати багатопланову електронну карту господарства й атрибутивну базу даних історії полів з урахуванням всіх виконаних агротехнічних заходів. У загальному випадку електронна карта полів повинна включати інформацію про:

- мезорельєф (з показом мезоформ рельєфу, форм схилів);
- крутість схилів;
- експозицію схилів (теплі, холодні, нейтральні);
- мікрорельєф (з показом контурів з переважанням тих або інших форм мікрорельєфу, що мають агрономічне значення);
- мікроклімат;
- рівень ґрунтових вод, їх мінералізація та склад;
- ґрунтоутворюючі і підстилаючі породи;
- мікроструктуру ґрунтового покриву (ґрунтова карта);
- вміст гумусу в ґрунті;
- забезпеченість рухливими формами елементів і мікроелементами мінерального живлення рослин;
- значення рН ґрунтів;
- фізичних властивостей ґрунтів;
- забруднення важкими металами, радіонуклідами й іншими токсикантами;
- еродованість ґрунтів, ерозійну небезпеку й інші види фізичної деградації (зсувів, селів та ін.);
- перезволоження і заболоченість ґрунтів;
- засоленість ґрунтів (типи і міри засолення);
- рослинний покрив з оцінкою стану природних кормових угідь;
- лісову рослинність з оцінкою стану природних лісів і лісових насаджень;
- розподіл корисних видів тварин, птиць, оцінку їх територіального впливу;
- фітосанітарний стан посівів.

Висновки та пропозиції. Використання інформаційних технологій моделювання та прогнозування родючості ґрунтів має велике науково-практичне значення для їх раціонального використання, застосування добрив, меліорацій, засобів механізації виробничих процесів у землеробстві та рослинництві.

Процес створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень в агроєкосистемах можна здійснити у чотири основні етапи.

На першому етапі створюється картографічна основа інформаційної системи управління – цифрова карта поля.

Другий етап включає польове обстеження територій з метою уточнення даних про використання та функціональне призначення об'єктів, відображених на цифровій карті, для формування семантичної інформації, а також агрохімічне обстеження з відбором зразків ґрунтів і просторової прив'язкою місць відбору за допомогою ДЗЗ.

На третьому етапі розробляється база даних користувача з прив'язкою їх до конкретних об'єктів цифрової карти, з їх подальшою інтерполяцією на всю територію господарства та інтеграцією в систему управління.

Четвертий етап полягає у налагодженні системи та впровадженні в управлінський процес.

Список використаних джерел

1. *Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України* / за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, О. Г. Тараріко, В. О. Грекова, А. Д. Балаєва. – К. : НУБіП, 2010. – 113 с.
2. *Гапон Е. Н.* К теории обменной адсорбации в почвах / Е. Н. Гапон // Журн. общей химии. – 1933. – Т. 3. – С. 144–152.
3. *Гапон Е.* Об уравнении изотермы обменной адсорбации / Е. Н. Гапон // Коллоид. – 1937. – Т. 3. – С. 859–862.
4. *Гортиков В.* Знак заряда карбоната кальция в связи с условиями его образования и составом почвенного раствора / В. Гортиков, И. Остапенко // Сб. рефератов научно-исследовательских работ ВИУАА за 1932-1934 гг. – М., 1936. – С. 425.
5. *Веригин Н. Н.* Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники / Н. Н. Веригин // Изв. АН СССР. ОТН. – 1953. – № 10. – С. 1369–1382.
6. *Пачепский Я. А.* Математические модели физико-химических процессов в почвах : монография / Я. А. Почепский. – М. : Наука, 1990. – 180 с.
7. *Природа* моделей и модели природы / Д. М. Гвишиани, И. Б. Новик, С. А. Пегов и др. – М. : Мысль, 1986. – 269 с.
8. *Фрид А. С.* Система моделей плодородия почв / А. С. Фрид // Плодородие почв: проблемы, исследования, модели. – М., 1985. – С. 37–43.
9. *Шишов Л. Л.* Критерии и модели плодородия почв / Л. Л. Шишов, И. И. Карманов, Д. Н. Дурманов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 184 с.
10. *Комплексное* агрохимическое окультуривание полей / В. М. Бельченко, В. А. Светов, Л. И. Перлов и др. – М. : Агропромиздат, 1987. – 144 с.
11. *Синдеев В. А.* Система показателей уровня использования земли в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства / В. А. Синдеев // Земельный кадастр и повышение эффективности использования земель : науч. тр. Львовский СХИ. – Львов, 1983. – С. 32–36.
12. *Прохорова З. А.* Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта / З. А. Прохорова, А. С. Фрид. – М. : Наука, 1993. – 189 с.
13. *Федосеев А. П.* Использование гидрометеорологической информации для обоснования агротехнических решений / А. П. Федосеев, Е. Е. Жуковский // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1983. – № 2. – С. 138–143.
14. *Гічка М. М.* Наукове обґрунтування використання методів дистанційного зондування в моніторингу ґрунтів : дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.03 / Гічка Максим Миколайович. – Х., 2007. – 191 с.

15. Лурье И. К. Основы геоинформатики и создание ГИС / И. К. Лурье // Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Ч. I / под ред. А. М. Берлянта. – М. : МГУ им. Ломоносова, 2002. – 140 с.
16. Горбійчук М. І. Метод оцінки стану ґрунтів з використанням fuzzy-технологій / М. І. Горбійчук, О. В. Пендерецький, М. А. Шуфнарівч // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Вип. 3, № 5 (33). – С. 29–32.
17. Горбійчук М. І. Застосування fuzzy-технологій для оцінки стану ґрунтів / М. І. Горбійчук, М. А. Шуфнарівч // Problems of decision marking under uncertainties: Materials digest of the International Conference, Kyiv–Rivne, May 12–17, 2008, – Kyiv–Rivne, 2008. – С. 268–272.
18. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия–Телеком, 2004. – 452 с.
19. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTech / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.
20. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
21. Моніторинг ґрунтів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.agro-business.com.ua/u-pravovomu-poli/223-monitoryng-gruntiv.html>.

References

1. Baliuk, S.A., Medvediev, V.V., Tarariko, O.H., Hrekov, V.O., Balaiev, A.D. (2010). Nacionalna dopovid pro stan rodshuchosti gruntiv Ukrainy [National Report on the State of Soil Fertility Ukraine]. Kyiv: NUBiP (in Ukrainian).
2. Gapon, E.N. (1933). K teorii obmennoj adsorbacii v pochvah [To exchange adsorption theory in the soils]. *Zhurn. obshhej himii – Journal. General chemistries*, vol. 3, pp. 144–152 (in Russia).
3. Gapon E. (1937). Ob uravnenii izotermy obmennoj adsorbacii [The equation of exchange adsorption isotherm]. *Kolloid. – Colloid. Journal*, vol. 3, pp. 859–862 (in Russia).
4. Gortikov, V., Ostapenko, I. (1936). Znak zariada karbonata kaltsiia v sviazi s usloviiami ego obrazovaniia i sostavom pochvennogo rastvora [Sign of the calcium carbonate of the charge in connection with the conditions of its formation and composition of the soil solution]. *Sb. referatov nauchno-issledovatel'skikh rabot VIUAA za 1932–1934 gg. – Coll. Abstracts of scientific research VIUA for the 1932-1934 years*. Moscow, pp. 425 (in Russia).
5. Verigin, N.N. (1953). Nekotorye voprosy khimicheskoi gidrodinamiki, predstavliaiushchie interes dlia melioratsii i gidrotekhniki [Some issues of chemical hydrodynamics of interest for land reclamation and hydraulic engineering]. *Izv. AN SSSR. OTN – Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, no. 10, pp. 1369–1382 (in Russia).
6. Pachepskii, Ya.A. (1990). *Matematicheskie modeli fiziko-khimicheskikh processov v pochvakh [Mathematical models of physical and chemical processes in soils]*. Moscow: Nauka (in Russia).
7. Gvishiani, D.M., Novik, I.B., Pegov, S.A. (1986). *Priroda modelei i modeli prirody [Nature models and models of nature]*. Moscow: Mysl (in Russia).
8. Frid, A.S. (1985). Sistema modelei plodorodiia pochv [The system of soil fertility models]. *Plodorodie pochv: problemy, issledovaniia, modeli – Soil fertility: problems, research, models*. Moscow, pp. 37–43 (in Russia).
9. Shishov, L.L., Karmanov, I.I., Durmanov, D.N. (1987). *Kriterii i modeli plodorodiia pochv [Criteria and models of soil fertility]*. Moscow: Agropromizdat (in Russia).
10. Belchenko, V.M., Svetov, V.A., Perlov, L.I. et al. (1987). *Kompleksnoe agrohimicheskoe okulturanie polei [Complex agrochemical cultivation fields]*. Moscow: Agropromizdat (in Russia).
11. Sindeev, V.A. (1983). Sistema pokazatelei urovnia ispolzovaniia zemli v usloviiakh intensifikatsii selskohoziastvennogo proizvodstva [System-level land use indicators in terms of intensification of agricultural production]. *Zemelnyi kadastr i povyshenie effektivnosti ispolzovaniia zemel – Land Registry and improve the efficiency of land use*. Lvov, pp. 32–36 (in Ukrainian).
12. Prohorova, Z.A., Frid, A.S. (1993). Izuchenie i modelirovanie plodorodiia pochv na baze dlitel'nogo polevogo opyta [Study and modeling of soil fertility on the basis of long-term field experiment]. Moscow: Science (in Russia).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

13. Fedoseev, A.P., Zhukovskii, E.E. (1983). Ispolzovanie gidrometeorologicheskoi informacii pri programmirovanii urozhav [The use of hydro-meteorological information to support agro-technical solutions]. *Vestnik selskokhoziaistvennoi nauki – Bulletin of Agricultural Science*, no. 2, pp.138–143 (in Russia).
14. Gichka, M.M. (2007). Naukove obhruntuvannia vykorystannia metodiv dystantsiinoho zonduvannia v monitorynhu hruntiv [The scientific justification for the use of remote sensing techniques to monitor soil]. *Candidate's thesis*. Kharkiv (in Ukrainian).
15. Lure, I.K. (2002). Osnovy geoinformatiki i sozdanie GIS [Basics of Geoinformatics and GIS creation]. Proceedings from *Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy – Remote sensing and geographic information systems*. Part I. Moscow: Moscow State University. Lomonosov (in Russia).
16. Gorbiiichuk, M.I., Penderetskyi, O.V., Shufranovych, M.A. (2008). Metod otsinky stanu hruntiv z vykorystanniam fuzzy-tehnologii [Method for the assessment of soil using fuzzy-technology]. *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovykh tehnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 5 (33), pp. 29–32 (in Ukrainian).
17. Gorbiiichuk, M.I., Shufranovych, M.A. (2008). Zastosuvannia fuzzy-tehnologii dlia orsinky stanu hruntiv [Application of fuzzy-technology for the assessment of soil]. *Problems of decision marking unter uncertainties: Materials digest of the International Conference* (Kyiv–Rivne, May 12–17). Kyiv–Rivne, pp. 268–272 (in Ukrainian).
18. Rutkovskaia, D., Pilinskii, M., Rutkovskii, L. (2004). *Neironnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]* (I. D. Rudinskii, Trans.). Moscow: Hotline Telecom (in Russia).
19. Leonenkov, A.V. (2005). *Nechetkoe modelirovanie v srede MatLab i fuzzyTech [Fuzzy modeling in MatLab and fuzzyTech]*. St. Petersburg: BHV – Petersburg (in Russia).
20. Kruglov, V.V. (2001). *Iskusstvennye neironnye seti. Teoriia i praktika [Artificial Neural Networks. Theory and practice]*. Moscow: Hotline – Telecom (in Russia).
21. *Monitorynh hruntiv [Monitoring soil]*. Retrieved from <http://www.agro-business.com.ua/opravovomu-poli/223-monitoryng-gruntiv.html>.

Нехай Валентин Валентинович – аспірант кафедри програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Нехай Валентин Валентинович – аспірант кафедры программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Nekhai Valentyn – PhD student of Department of Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: valentin_nehai@meta.ua

Литвинов Віталій Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Литвинов Виталий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Litvinov Vitaliy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vlitvin@ukrsoft.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9622-3871>

УДК 528.4:332.3

Світлана Хрищук

**МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ЕКОБЕЗПЕЧНОГО
ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ**

Светлана Хрыщук

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОБЕЗОПАСНОГО
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ**

Svitlana Khryshchuk

METHODICAL ASPECTS OF FORMING ECOLOGICALLY SAFE LAND-TENURE

Тривалий період реформування земельних відносин, зокрема в частині створення ефективних механізмів управління земельними ресурсами, не забезпечив вирішення проблем охорони довкілля і відповідальності землекористувачів за стан земельних ресурсів. Існування вищезазначених проблем пов'язують з недосконалістю теоретичної бази і методик наукового прогнозування, формування системи збалансованого (сталого) землекористування.

Роботу присвячено вирішенню питань удосконалення методичного забезпечення щодо формування системи землекористування, обґрунтування можливостей застосування певних методів для вирішення питань екологічно безпечного землекористування та формулювання основних принципів екологічно безпечного землекористування.

Ключові слова: екологічно безпечне землекористування, формування системи землекористування, методичні підходи, раціональне використання, збалансоване землекористування.

Табл.: 2. Бібл.: 28.

Длительный период реформирования земельных отношений, в частности создания эффективных механизмов управления земельными ресурсами, не обеспечил решение проблем охраны окружающей среды и ответственности землепользователей за состояние земельных ресурсов. Существование вышеотмеченных проблем связывают с несовершенством теоретической базы и методик научного прогнозирования, формирования системы сбалансированного землепользования.

Работа посвящена решению вопросов совершенствования методического обеспечения относительно формирования системы землепользования, обоснования возможностей применения определенных методов для решения вопросов экологически безопасного землепользования и формулировки основных принципов экологически безопасного землепользования.

Ключевые слова: экологически безопасное землепользование, формирование системы землепользования, методические подходы, рациональное использование, сбалансированное землепользование.

Табл.: 2. Библ.: 28.

The protracted period of reformation of the landed relations, in particular in part of creation of effective mechanisms of management the landed resources did not provide the decision of problems of guard of environment and responsibility of land tenants for the state of the landed resources. Existence of the higher marked problems is bound to imperfection of theoretical base and methodologies of scientific prognostication, forming of the system of the balanced land-tenure.

This article seeks to the decision of questions of perfection of the methodical providing in relation to forming of the system of land-tenure, ground of possibilities of application of certain methods for the decision of questions ecologically safe land-tenure and formulation of basic principles of ecosafety land-tenure.

Key words: ecologically safe land-tenure, forming of the system of land-tenure, methodical approaches, rational use, balanced land-tenure.

Tabl.: 2. Bibl.: 28.

Постановка проблеми. Земельні ресурси відіграють важливу роль як у розвитку продуктивних сил держави загалом, так і її регіонів зокрема, і є важливим екологічним показником життєдіяльності суспільства. Тривалий період реформування земельних відносин, зокрема у частині створення ефективних механізмів управління земельними ресурсами, не забезпечив вирішення проблем охорони довкілля і відповідальності землекористувачів за стан земельних ресурсів. Як наслідок – сформувались негативні тенденції у використанні земель у різних сферах діяльності суспільства. Крім того, недосконалість теоретичної бази і методик наукового прогнозування раціонального використання земельних ресурсів, формування системи збалансованого (сталого) землекористування, наявні екологічні проблеми негативно відображаються на ефективності подальшого використання землекористувань різних видів. Це вимагає посилення ролі екологічних нормативів у частині охорони земель, відтворення родючості ґрунтів, зокрема, встановлення оптимального співвідношення земельних угідь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчать численні наукові публікації [7; 9–10; 12–13; 27], негативна тенденція щодо погіршення якісного стану земельного

фонду та екологічного середовища є як загальнодержавною, так і регіональною проблемою. За таких умов є очевидним вирішення питань щодо формування системи збалансованого землекористування, екологічної ефективності використання земельних ресурсів, які необхідно розглядати з позиції збереження їх природного стану та підвищення стійкості природних ландшафтів. Основою для таких перетворень повинно стати екологічнобезпечне землекористування.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Вивчаючи питання формування змісту екологічнобезпечного землекористування, науковці стверджують, що останнє передбачає відновлення якості земельних ресурсів, які залучені до господарської діяльності [4]. Саме тому пропонують виділити принцип екології, який полягає у формуванні природних екологічних систем. Однак сьогодні залишається невирішеними питання узгодження та систематизація сутності основних підходів до екобезпечного землекористування, різноманіття яких пов'язують з різними уявленнями, концепціями, принципами, що пов'язано з урахуванням міждисциплінарного характеру дослідження.

Зважаючи на це, **метою дослідження** є узагальнення сучасних уявлень про методологічні підходи до формування системи регіонального землекористування на засадах екобезпечного використання.

Вивчення питання формування методів екобезпечного землекористування передбачає вирішення таких завдань:

- виявити особливості різних методичних підходів до раціоналізації (оптимізації) системи землекористування;
- обґрунтувати можливості їх застосування для вирішення питань екобезпечного землекористування;
- сформулювати основні принципи екобезпечного землекористування.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні вирішення питань щодо вибору методів екобезпечного землекористування пов'язують з реалізацією основних принципів, закладених у Концепції сталого розвитку. Одним із завдань Концепції у сфері раціонального використання природно-ресурсного потенціалу [9] є забезпечення екологічно збалансованого стану навколишнього природного середовища країни, зокрема, екологічно обґрунтованого використання невідновлюваних та ефективного відтворення відновлюваних природних ресурсів. Раціональне використання земельного потенціалу, як найважливішого природного ресурсу, сьогодні вбачають, зокрема, в оптимізації використання земельного фонду, структури окремих видів землекористування відповідно до природно-економічних зон. Отже, існує необхідність оцінювання сучасного стану використання регіонального землекористування та вирішення питання оптимізації комплексно, оскільки саме такий підхід сприятиме формуванню сприятливого, екологічнобезпечного середовища, що є першоосновою сталого розвитку територій та збереження властивостей природних ландшафтів. Нормативно-законодавче забезпечення вирішення вищезазначених питань подано в табл. 1.

Серед загальних (класичних) методичних підходів, які використовують для вирішення проблемних питань у різних сферах діяльності, зокрема в екології та економіці землекористування, виділяють системний та комплексний підходи.

Вивчення сутності системного підходу полягає у визначенні системності як багатоманітної єдності, яка складається із взаємопов'язаних сторін та елементів. Вважається, що системний підхід передбачає багаторівневе та багатопланове вивчення об'єкта, у процесі якого формується декілька моделей, які відображають об'єкт на різних рівнях. Поряд з системним застосовують поняття комплексного підходу, який вважають частиною системного методичного підходу. Тобто комплекс – це полісистема, що характеризується тісними зв'язками і має високу ступінь впорядкованості з урахуванням суб'єктивних факторів впливу [16; 17; 26].

Нормативно-законодавче забезпечення оптимізації землекористування в Україні

Нормативно-законодавчий документ (НЗД)	Змістове наповнення НЗД щодо оптимізації
Земельний кодекс України (2001)	- одним з нормативів, які встановлені у галузі охорони земель та відтворення родючості ґрунтів, є <u>визначення оптимального співвідношення земельних угідь</u>
Закон України «Про генеральну схему планування території України» (2002)	- одним з основних завдань перспективного розвитку населених пунктів є <u>оптимізація структури землекористування</u> з метою забезпечення їх сталого розвитку
Концепція сталого розвитку населених пунктів (1999)	- <u>оптимізація структури землекористування</u> – це один з основних заходів, що мають забезпечити раціональне використання земельних ресурсів
Концепція збалансованого розвитку агроєкосистем в Україні на період до 2025 року (2003)	- складовою процесу створення умов для сталого розвитку агроєкосистем є <u>оптимізація структури сільськогосподарських ландшафтів</u>
Державна цільова програма розвитку українського села на період до 2015 року (2007)	- державна політика в галузі охорони та використання земельних ресурсів спрямована на <u>оптимізацію структури посівних площ та сівозмін</u> з метою підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь, запобігання розвитку ерозійних процесів...
Закон України «Про землеустрій» (2003)	- одним з основних завдань землеустрою є організація територій сільськогосподарських підприємств із створенням просторових умов, що забезпечують еколого-економічну <u>оптимізацію використання та охорони земель</u> сільськогосподарського призначення..., удосконалення співвідношення і розміщення зем. угідь
Закон України «Про екологічну мережу України» (2004)	- <u>удосконалення (оптимізація) складу земель України</u> шляхом забезпечення науково обґрунтованого співвідношення між різними категоріями земель
Закон України «Про загальнодержавну програму формування нац. екол. мережі України на 2000-2015 рр.» (2000)	- одним із основних завдань програми є <u>оптимізація площі, стану елементів екологічної мережі (зокрема площ сільськогосподарських угідь, зменшення ступеня їх розораності)</u>
Закон України «Про охорону земель» (2003)	- передбачає встановлення нормативів <u>оптимального співвідношення земельних угідь</u>

Джерело: складено автором на основі аналізу нормативно-законодавчої документації [11; 14; 15; 19–23].

На основі вищезазначеного, можна зробити висновок, що комплексний підхід від системного відрізняється специфічними ознаками (суб'єктивність, пошук ресурсів удосконалення елементів комплексу – наприклад застосування стратегічного планування), які характеризують його спрямованість на досягнення практичного результату. Разом з цим системний підхід до вивчення системи землекористування дає змогу виробити найбільш ефективні заходи щодо її вдосконалення. Уявлення про необхідність збалансованого розвитку різноманітних аспектів землекористування на практиці означає застосування сучасних підходів до екологічної оптимізації землекористування [3], організації території та охорони земель, зокрема екосистемного, басейнового, ландшафтного, агроєкологічного (табл. 2).

Таблиця 2

Особливості методичних підходів до оптимізації землекористування

Методичні підходи	Критерії характеристики підходів				
	Об'єкт дослідження	Мета застосування	Заходи	Результат застосування	Сфера реалізації
1	2	3	4	5	6
Екосистемний	екосистема (склад, структура, функції, впливи)	ідентифікація та виділення екосистем	розроблення системи заходів щодо сталого землекористування	класифікація, районування екосистем	екологічнобезпечне землекористування, формування природоохоронних територій

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6
Ландшафтний	ландшафти (склад, структура, тип зв'язку, якість, впливи)	виділення ландшафтів та їх елементів	зменшення антропогенного впливу, відновлення цілісності ландшафту	класифікація, районування, планування ландшафтів	землеробство, землевпорядкування, меліорація, рекреація, туризм
Агроекологічний	агроландшафт (склад, характеристики, впливи)	виділення агроландшафтів	консервація, залуження, збереження, збалансоване землекористування	класифікація, районування, зонування агроландшафтів	екологічнобезпечне землекористування, органічне землеробство
Басейновий	басейн ріки (геосистема, елементи, чинники, впливи)	виділення водозбірних площ	вдосконалення природокористування	районування, зонування території геосистеми	природокористування, екологічно економічна діяльність у сфері природокористування

Джерело: складено автором на основі аналізу наукових публікацій.

Проаналізувавши види методичних підходів за певними критеріями, зроблено такі висновки щодо їх застосування:

- екосистемний підхід дає можливість ґрунтовно вивчити питання забезпечення сталого функціонування життєвих екосистем (якщо розглядати землекористування як певну екосистему). Застосування цього підходу передбачає моделювання об'єкта у вигляді системи, в якій один із компонентів відіграє ключову роль, а решту розглядають як допоміжні елементи, від яких залежить стан екосистеми. До речі, прикладом практичного застосування екосистемного підходу в Європейському Союзі є створення Європейської екологічної сітки «ECONET», сутність якої полягає в розвитку території на основі створення біотичних центрів, що репрезентують відповідні ландшафти; буферні зони; екологічні коридори [1]. В Україні екосистемний підхід частково реалізований у Законі України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки» [21];

- ландшафтний підхід дає можливість вивчити питання вдосконалення використання землекористування – ландшафту, що, здебільшого, розглядається як територіальна система, якій притаманні множина взаємопов'язаних складових і факторів (клімат, природні й антропогенні чинники, види землекористування). Для охорони природних ресурсів розуміння системної організації ландшафту має вирішальне значення, оскільки будь-який вплив на один з компонентів ландшафту призводить до зміни у системі загалом – саме це визначає головний зміст ландшафтного підходу в процесі використання й охорони природного середовища. З практичного погляду, ландшафтний підхід реалізується через землевпорядне проектування, основою якого все частіше виступають GPS-мережі перманентних супутникових станцій [28];

- використання агроекологічного підходу в землекористуванні, описані в багатьох літературних джерел [10; 12], насамперед асоціюється з оптимізацією території, яка повинна забезпечити, з одного боку, більш повне використання природних умов у процесі господарювання, а з іншого боку, створення оптимальних умов для життя біорізноманіття, екологічного оздоровлення природного середовища. Оптимальним є використання ландшафтно-геохімічного підходу до вивчення агрогеосистем, застосування якого допоможе виявити особливості у прояві взаємодії природних та антропогенних факторів формування екологічного стану агрогеосистем певної території [10]. За М. Д. Гродзинським, оптимальна ландшафтно-екологічна організація території зводиться до обґрунтування такої територіальної диференціації функцій (на практиці схеми угідь), за якої максимально повно реалізуються природні потенціали геосистем [6];

- основні принципи басейнового підходу є аналогічними до вищенаведених принципів екосистемного підходу і передбачають використання принципів взаємозв'язку, географічного розташування й екологічнобезпечного управління, обміну інформацією тощо. Прикладом практичного використання басейнового підходу у сфері землекористування є впровадження науково-практичного напрямку екологічного використання перезволожених земель (wet land) у країнах Північної Європи (Данії, Нідерландах, Бельгії) [18]. В Україні басейновий підхід частково реалізується в басейні Дніпра, де нині здійснюється Національна програма екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води. Для виконання цієї програми Кабінет Міністрів України в більшості областей розробив і затвердив регіональні програми екологічного оздоровлення басейну р. Дніпро або розділи в обласних програмах охорони навколишнього середовища, одним з яких є технології оцінювання стану берегової лінії русел середніх і великих рік України [25]. У сфері сільськогосподарського землекористування цією програмою передбачено впорядкування водовідведення на сільськогосподарських угіддях, забезпечення подальшого розвитку землеробства у басейні Дніпра через дотримання екологічної рівноваги в сільськогосподарському виробництві та досягнення протирозійної стійкості агроландшафтів.

Висновки і пропозиції. На основі вищевикладеного матеріалу доцільно сформулювати загальні принципи екологічнобезпечного землекористування, а саме:

- оптимальності (полягає у використанні землі з урахуванням екологічної, економічної та соціальної складових, що дає можливість не допускати розвитку на ній деградаційних процесів);
- об'єктивності (дотримання стандартів, методик обстеження, інструкцій у процесі оцінювання екологічного стану ґрунтів);
- системності (полягає в єдності й логічній послідовності методологічних підходів);
- комплексності (пошук ресурсів удосконалення елементів системи землекористування, стратегічне планування системи землекористування);
- локальності (вдосконалення землекористування з урахуванням географічних особливостей, регіональних природно-кліматичних, господарських, соціальних та інших умов).

Отже, методологія екологічнобезпечного землекористування повинна ґрунтуватися на системі принципів, загальних та спеціальних методичних підходів (їх поєднанні), які характеризують діяльність (мету їх застосування), пов'язану з формуванням чи вдосконаленням системи землекористування на засадах екобезпечного використання.

Список використаних джерел

1. *Агробіорізноманіття* України: теорія, методологія, індикатори, приклади : кн. 1 / [під ред. О. О. Созінова, В. І. Придатка, О. І. Лисенка]. – К. : Нічлава, 2005. – 384 с.
2. *Беспалько Б. І.* Теоретичні основи оптимізації земель сільськогосподарського призначення / Р. І. Беспалько, С. Ю. Хришук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2012. – № 2 (72). – С. 224–230.
3. *Бриндзя О. З.* Теоретико-методологічні передумови раціонального землекористування [Електронний ресурс] / О. З. Бриндзя. – Режим доступу : <http://economics-of-nature.net/uploads/arhiv/2008/Bryndzja.pdf>.
4. *Власенко І. В.* Принципи функціонування екологічнобезпечного землекористування в сільському господарстві [Електронний ресурс] / І. В. Власенко // Збалансоване природокористування. – 2014. – № 1. – Режим доступу : http://natureus.org.ua/repec/archive/1_2014/24.pdf.
5. *Гродзинський М. Д.* Основи ландшафтної екології : [підручник] / М. Д. Гродзинський. – К. : Либідь, 1993. – 224 с.
6. *Даниленко Б. В.* Перспективні напрями розвитку еколого-правового регулювання землекористування / Б. В. Даниленко // Науковий вісник ЧНУ. – 2011. – Вип. 597. Правознавство. – С. 79–83.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. *Екологічні проблеми землеробства* / за ред. І. Д. Примака. – К. : Центр учбової літератури, 2010. – 456 с.
8. *Ермак В. Д. Системи. Системные принципы. Системный подход* / В. Д. Ермак // Киевские ведомости. – 2002. – № 1. – С. 55.
9. *Зацерковний В. І. Аналіз еколого-економічної збалансованості та природно-ресурсного потенціалу територій за допомогою геоінформаційних технологій* / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник Львівського національного аграрного університету: економіка АПК. – Львів : Львів. нац. аграр. ун-т, 2010. – № 17 (1). – С. 301–312.
10. *Зацерковний В. І. Концепція створення системи агроекологічного моніторингу сільськогосподарських угідь Чернігівської області за допомогою ГІС* / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. праць Західного геодезичного тов-ва УТГК. – Л. : Вид-во нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2011. – Вип. 2 (22). – С. 176–181.
11. *Земельний кодекс України від 25.10.2001 р. № 2768-III* // Відомості Верховної Ради України. – 2002. – № 3-4. – Ст. 27.
12. *Ільків Л. А. Еколого-економічні проблеми землекористування в сільському господарстві* [Електронний ресурс] / Л. А. Ільків. – Режим доступу : <http://elibrary.nubip.edu.ua/12742/1/111a.pdf>.
13. *Канаш О. П. Критичний огляд традиційних підходів щодо оптимізації землекористування* / О. П. Канаш // Землевпорядний вісник. – 2010. – № 12. – С. 13–17.
14. *Концепція Державної цільової програми розвитку земельних відносин в Україні на період до 2020 року* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/743-2009>.
15. *Концепція збалансованого розвитку агроecosистем в Україні на період до 2025 року* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ua-info.biz/legal/baseye/ua-cmwrur.htm>.
16. *Кривов В. М. Екологічно безпечне землекористування Лісостепу України. Проблема охорони ґрунтів* / В. М. Кривов. – К. : Урожай, 2006. – 304 с.
17. *Лаврентьев Г. В. Методологический анализ системного и комплексного подходов (разработка электронного учебно-методического комплекса)* / Г. В. Лаврентьев, Н. Б. Лаврентьев // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – Вып. 2-1. – С. 16–20.
18. *Огінський А. М. Національна система сільського господарства: вступ до загальної теорії і практики державного управління* / А. М. Огінський. – К. : ІАЕ, 1999. – 365 с.
19. *Про генеральну схему планування території України* [Електронний ресурс] : Закон України від 7 лютого 2002 року № 3059-III. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-14>.
20. *Про екологічну мережу України* [Електронний ресурс] : Закон України від 24.06.2004 № 1864-IV. – Режим доступу : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1864-15>.
21. *Про загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки* [Електронний ресурс] : Закон України від 21.09.2000 № 1989-III. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1989-14>.
22. *Про землеустрій* [Електронний ресурс] : Закон України від 22.05.2003 № 858-IV. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/go/858-15>.
23. *Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2020 року* [Електронний ресурс] : Закон України від 21.12.2010 № 2818-VI. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.
24. *Розвиток продовольчої безпеки України* : [аналіт. доп.] / за заг. ред. Я. А. Жаліла. – К. : НІСД, 2011. – 104 с.
25. *Розроблення технології оцінки стану берегової лінії русел середніх і великих рік України* / О. Терещук, В. Глотов, В. Чижевський, В. Мовенко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. праць. – Львів-Яворів, 2007. – Вип. 1 (13). – С. 180–184.
26. *Спицнадель В. Н. Основы системного анализа* : учеб. пособие / В. Н. Спицнадель. – СПб. : Бизнес Пресса, 2000. – 320 с.
27. *Ступень М. Г. Проблемні аспекти охорони земель від забруднення в межах адміністративно-територіальних одиниць* / М. Г. Ступень, Р. Й. Гулько, Р. Б. Таратула // Вісник Львівського державного аграрного університету: Економіка АПК. – 2007. – № 14 (1). – С. 293–297.

28. Терещук О. І. Відновлення міських полігонометричних мереж сучасними супутниковими технологіями / О. І. Терещук, І. О. Нисторьяк, Р. В. Шульц // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2015. – Вип. 82. – С. 59–72.

References

1. Sozinov, O.O., Prydatok, V.I., Lysenko, O.I. (eds.) (2005). *Ahrobioriznomanittia Ukrainy: teoriia, metodolohiia, indykatory, pryklady [Agrobiodiversity of Ukraine: theory, methodology, indicators, examples]*. Kyiv: Nichlava, book 1 (in Ukrainian).
2. Bepalko, B.I., Khryshchuk, S.Yu. (2012). Teoretychni osnovy optymizatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia [The theoretical basis of optimization of agricultural land]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia – Proceeding of National University of Water and Environmental Engineering*, no. 2 (72), pp. 224–230 (in Ukrainian).
3. Bryndzia, O.Z. (2008). Teoretyko-metodolohichni peredumovy ratsionalnoho zemlekorystuvannia [Theoretical and methodological prerequisites rational land use]. Retrieved from <http://economics-of-nature.net/uploads/arhiv/2008/Bryndzja.pdf>.
4. Vlasenko, I.V. (2014). Pryntsypy funktsionuvannia ekolohobezpechnoho zemlekorystuvannia v silskomu hospodarstvi [Principles of ecologically safe land use in agriculture]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced Nature*, no. 1. Retrieved from http://natureus.org.ua/repec/archive/1_2014/24.pdf.
5. Hrodzynskiy, M.D. (1993). *Osnovy landshaftnoi ekolohii [Basics of Landscape Ecology]*. Kyiv: Lybid (in Ukrainian).
6. Danylenko, B.V. (2011). Perspektyvni napriamy rozvytku ekoloho-pravovoho rehuliuвання zemlekorystuvannia [Promising areas of environmental and legal regulation of land use]. *Naukovyi visnyk ChNU – Scientific Bulletin of Chernivtsi University*, issue 597. Pravoznavstvo, pp. 79–83 (in Ukrainian).
7. Prymak, I.D. (ed.) (2010). *Ekolohichni problemy zemlerobstva [The environmental problems of agriculture]*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury (in Ukrainian).
8. Ermak, V.D. (2002). Sistemy. Sistemnye printsipy. Sistemnyi podkhod [Systems. System principles. Approach of the systems]. *Kyevskye vedomosti – Kiev Gazette*, no. 1, pp. 55 (in Ukrainian).
9. Zatserkovnyi, V.I., Kryvoberets, S.V., Simakin, Yu.S. (2010). Analiz ekoloho-ekonomichnoi zbalansovanosti ta pryrodno-resursnoho potentsialu terytorii za dopomohoiu heoinformatsiinykh tekhnolohii [Analysis of ecological-economic balance and natural resources areas using GIS technology]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ekonomika APK – Bulletin LNAU. Economy AIC*, no. 17 (1), pp. 301–312 (in Ukrainian).
10. Zatserkovnyi, V.I., Kryvoberets, S.V., Simakin, Yu.S. (2011). Kontsepsiia stvorennia systemy ahroekolohichnoho monitorynhu silskohospodarskykh uhid Chernihivskoi oblasti za dopomohoiu HIS [The concept of agro-ecological systems monitoring farmland Chernihiv region using GIS]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Recent advances in geodetic science and industry*, issue 2 (22), pp. 176–181 (in Ukrainian).
11. Zemelnyi kodeks Ukrainy vid 25.10.2001 r. № 2768-III [The Land Code of Ukraine on October 25, 2001 № 2768-III]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy – Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine*, no. 3-4, article 27 (in Ukrainian).
12. Ilkiv, L.A. *Ekoloho-ekonomichni problemy zemlekorystuvannia v silskomu hospodarstvi [Ecological and economic problems of land-tenure are in agriculture]*. Retrieved from <http://elibrary.nubip.edu.ua/12742/1/11ila.pdf>.
13. Kanash, O.P. (2010). Krytychnyi ohliad tradytsiinykh pidkhodiv shchodo optymizatsii zemlekorystuvannia [A critical review of traditional approaches to optimizing of land-tenure]. *Zemleporiadnyi visnyk – Land Management Journal*, no. 12, pp. 13–17 (in Ukrainian).
14. *Kontsepsiia Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku zemelnykh vidnosyn v Ukraini na period do 2020 roku [Conception of the Government having a special purpose program of development of the landed relations in Ukraine before 2020]*. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/743-2009>.
15. *Kontsepsiia zbalansovanoho rozvytku ahroekosystem v Ukraini na period do 2025 roku [Conception of the Government having a special purpose program of development of the landed relations in Ukraine before 2025]*. Retrieved from <http://ua-info.biz/legal/baseye/ua-cmwrur.htm>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

16. Kryvov, V.M. (2006). *Ekolohichno bezpechne zemlekorystuvannia Lisostepu Ukrainy. Problema okhorony gruntiv [Ecologically safe land-tenure of territory of Forest-steppe of Ukraine. Problems of guard of soils]*. Kyiv: Urozhai (in Ukrainian).
17. Lavrentev, G.V., Lavrentev, N.B. (2011). Metodologicheskii analiz sistemnogo i kompleksnogo podkhodov razrabotka elektronnoho uchebno-metodicheskogo kompleksa [Methodological analysis system and complex approaches (development of electronic educational methodical complex)]. *Izvestiia Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta – The News of Altai State University*, issue 2-1, pp. 16–20 (in Russian).
18. Ohinskyi, A.M. (1999). *Natsionalna systema silskoho hospodarstva: vstup do zahalnoi teorii i praktyky derzhavnoho upravlinnia [National system of agriculture: prelude of general theory and practice of state administration]*. Kyiv: IAE (in Ukrainian).
19. *Pro heneralnu skhemu planuvannia terytorii Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 07.02.2002 № 3059-III [On the General Scheme for Planning the Ukrainian Territory: Law on February 7, 2002 № 3059-III]*. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-14>.
20. *Pro ekolohichnu merezhu Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 24.06.2002 № 1864-IV [On Ecological Network of Ukraine: Law on June 24, 2004 № 1864-IV]*. Retrieved from <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1864-15>.
21. *Pro Zahalnoderzhavnu prohramu formuvannia natsionalnoi ekolohichnoi merezhi Ukrainy na 2000–2015 roky: Zakon Ukrainy vid 21.09.2000 № 1989-III [On the National Program for Creating the National Environmental Network of Ukraine for the Years 2000–2015: Law on September 21, 2000 № 1989-III]*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1989-14>.
22. *Pro zemleustrii: Zakon Ukrainy vid 22.05.2003 № 858-IV [On Land Management: Law on May 22, 2003 № 858-IV]*. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/go/858-15>.
23. *Pro osnovni zasady (stratehiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky na period do 2020 roku: Zakon Ukrainy vid 21.12.2010 № 2818-VI [On the Main Principles (Strategy) of the National Environmental Policy of Ukraine for the Period until 2020: Law on December 21, 2010 № 2818-VI]*. Retrieved from <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.
24. Zhalilo, Ya.A. (ed.) (2011). *Rozvytok prodovolchoi bezpeky Ukrainy [The development of food security of Ukraine]*. Kyiv: NISD (in Ukrainian).
25. Tereshchuk, O., Hlotov, V., Chyzhevskiy, V., Movenko, V. (2007). Rozroblennia tekhnolohii otsinky stanu berehovoii linii rusel serednikh i velykykh rik Ukrainy [Development of technology assessment of shoreline channels of medium and large year Ukraine]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Recent advances in geodetic science and industry*, issue 1 (13), pp. 180–184 (in Ukrainian).
26. Spitsnadel, V.N. (2000). *Osnovy sistemnogo analiza [Bases of system analysis]*. Saint-Petersburg: Biznes Pressa (in Russian).
27. Stupen, M.H., Hulko, R.Y., Taratula, R.B. (2007). Problemni aspekty okhorony zemel vid zabrudnennia v mezhakh administratyvno-terytorialnykh odynits [Problem aspects of land guard from contamination within the limits of administrative-territorial units]. *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu: ekonomika APK – Bulletin LSAU. Economy AIC*, no. 14 (1), pp. 293–297 (in Ukrainian).
28. Tereshchuk, O.I., Nystoriak, I.O., Shults, R.V. (2015). Vidnovlennia miskykh polihonometrychnykh merezh suchasnymy suputnykovymy tekhnolohiiamy [Recovery of the urban polygonometric network of the modern satellite technology]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia – Geodesy, Cartography and Aerial photography*, issue 82, pp. 59–72 (in Ukrainian).

Хришук Світлана Юрївна – аспірант КНУБіА, асистент кафедри землевпорядкування та кадастру, Чернівецький національний університету імені Юрія Федьковича (вул. М. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58000, Україна).

Хрышук Светлана Юрьевна – аспірант КНУСиА, асистент кафедри землеустрою та кадастру, Черновицький національний університет імені Юрія Федьковича (ул. М. Коцюбинського, 2, г. Черновці, 58000, Україна).

Khryshchuk Svitlana – Phd student, assistant of Department of Organization of the Use of Land and Cadastre, Chernivtsi national university of the name of Yuriy Fed'kovich (2 Kotsubynskiy Str., 58000 Chernivtsi, Ukraine).

E-mail: sv.hryshchuk@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6542-905X>

ResearcherID: researcherid/D-9590-2016

УДК 528.4+332.64

Роман Романко

**УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ, ПІДДАНИХ
ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ ЯВИЩ, НА ОСНОВІ INSPIRE**

Роман Романко

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ,
ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ,
НА ОСНОВЕ INSPIRE**

Roman Romanko

**IMPROVING MONITORING MODELS OF LANDS AFFECTED BY NATURAL
HAZARDS ON INSPIRE BASIS**

Логіка застосування рекомендацій INSPIRE передбачає визначення конкретного набору просторових об'єктів, які властиві окремим тематикам їхнього застосування. Типи просторових об'єктів і типи даних повинні відповідати визначенням та обмеженням, а також містити атрибути й асоціативні ролі, викладені у рекомендаціях INSPIRE.

Ключові слова: геопросторові дані, екзогенні геологічні процеси (ЕГП), моніторинг земель.

Рис.: 1. Табл.: 2. Бібл.: 5.

Логика применения рекомендаций INSPIRE предусматривает определение конкретного набора пространственных объектов, которые свойственны отдельным тематикам их применения. Типы пространственных объектов и типы данных должны соответствовать определению и ограничениям, а также содержать атрибуты и ассоциативные роли, изложенные в рекомендациях INSPIRE.

Ключевые слова: пространственные данные, экзогенные геологические процессы (ЭГП), мониторинг земель.

Рис.: 1. Табл.: 2. Библ.: 5.

The logic of the application guidelines INSPIRE provides the definition of a particular set of spatial objects that are inherent to individual thematic of their application. Types of spatial objects and data types shall comply with the definition and limitation, and include the attributes and association roles set out in the recommendations of INSPIRE.

Key words: geospatial data, exogenous geological processes (EGP), land monitoring.

Fig.: 1. Tab.: 2. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. В умовах глобалізації та широкого використання сучасних методів та моделей геопросторового аналізу інформації про стан довкілля, національна система моніторингу зобов'язана розвиватись на основі уніфікованих підходів її побудови, що забезпечить її ефективніше функціонування, відповідність викликам і загрозам природного та антропогенного походження, як внутрішньодержавного, так і транскордонного впливу, а також сумісність із загальноєвропейськими системами моніторингу довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчать літературні джерела, спроби дослідження проблеми моніторингу земель в Україні, в основному, стосувались тієї їх частини, що втратили свою господарську та екологічну цінність через порушення ґрунтового покриву внаслідок виробничої діяльності людини. Перед суспільством стоїть надзвичайно актуальне завдання організації використання природних ресурсів таким чином, щоб припинити їх деградацію і спромогтися суттєвого покращення екологічного стану. Це можливе лише за рахунок організації ефективного моніторингу стану територій та розширеного розвитку особливо охоронюваних територій [1]. Питання ж моніторингу порушених природними явищами земель не знайшло вагомого наукового вирішення.

З погляду безпосереднього сусідства, яке зумовлює наявність спільних природних та антропогенних причин виникнення небезпечних явищ і процесів, наявності кращого досвіду, а також інтеграційних прагнень нашої держави, вартими уваги є перспективні плани і практичні результати вдосконалення системи моніторингу в ЄС.

В ЄС однозначно не регламентована необхідність створення і розвитку геоінформаційних продуктів, що стосуються оцінки стану земель. Проте на практиці в сучасних умовах цей блок інформації є апіорі наявним і дуже необхідним у ролі вихідної. Однією із ключових тенденцій розвитку моніторингу земель в ЄС є його гармонізація, що спрямована на вирішення неузгодженості позицій різних країн щодо нього [2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Для обміну та класифікації просторових об'єктів держави-члени ЄС повинні використовувати типи просторових об'єктів та пов'язані з ними типи даних, переліки та списки кодів, що належать до відповідних тематик, які є окремими сукупностями просторових даних відповідно до Директиви INSPIRE.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є обґрунтування застосування рекомендацій INSPIRE для вдосконалення системи моніторингу земель підданих дії ЕГП та визначення основних класів та підкласів просторових об'єктів згідно з TWG-NZ.

Виклад основного матеріалу. Логіка застосування рекомендацій INSPIRE передбачає визначення конкретного набору просторових об'єктів, які властиві окремим тематикам їхнього застосування. Окремі набори просторових даних (НПД) повинні відповідати таким умовам:

- 1) відносяться до регіону юрисдикції країни-члена ЄС;
- 2) представлені в електронному вигляді;
- 3) належать чи знаходяться у володінні: а) адміністративних органів, які створили ці НПД, або отримали їх у своє розпорядження, підтримували чи оновлювали їх для реалізації своїх функцій; б) третіх осіб, яким надано мережевий доступ на визначених умовах;
- 4) відносяться до однієї чи більше тематик, наведених у додатках до Директиви 2007/2/ЄС.

Типи просторових об'єктів і типи даних повинні відповідати визначенням та обмеженням, а також містити атрибути й асоціативні ролі, викладені у рекомендаціях INSPIRE. Вони мають за мету підвищити якість інтегрування даних, які надходять з різних джерел, зокрема, що отримуються за допомогою сучасних супутникових технологій, дослідження яких на сьогодні активно розвиваються в Україні [3], а також сприяти раціональному їх розподілу по базах даних, а також вирішити завдання уніфікації опису структури і складу НПД.

Переліки значень атрибутів і списки кодів, використовуваних у позначенні атрибутів або асоціативних ролей типів просторових об'єктів або типів даних, повинні відповідати визначенням і містити значення, викладені в Додатку II Директиви 2007/2/ЄС. Значення переліків та списків кодів ідентифікуються мнемонічними кодами для комп'ютерів. Також значення можуть містити семантичні назви, які використовуватимуться для взаємодії з людиною.

Типи, які використовуватимуться для обміну та класифікації просторових об'єктів з наборів даних, пов'язаних з тематикою зон ризику ЕГП, визначені у схемах застосування для зон природних ризиків, які є концептуальними схемами для даних, необхідних для одного або декількох додатків. Вони вказують вимоги до властивостей кожного просторового об'єкта, включаючи його кратність, межі допустимих значень, обмеження тощо.

Схеми застосування, побудовані на основі Unified Modeling Language (UML), є уніфікованою мовою моделювання та використовується у парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування. Вона є невід'ємною частиною уніфікованого процесу розроблення програмного забезпечення. UML є мовою широкого профілю, це відкритий стандарт, що використовує графічні позначення для створення абстрактної моделі системи, названої UML-моделлю. UML була створена для визначення, візуалізації, проектування та документування в основному програмних систем. UML не є мовою програмування, але в засобах виконання UML-моделей як інтерпретованого коду можлива кодогенерація.

Використання загальної концептуальної мови схем (тобто UML) дозволяє автоматизувати оброблення схем застосування та кодування, запитів і оновлення даних на їх основі за різними темами і різними рівнями деталізації.

Згідно з ISO/TS 19103 та ISO 19109 UML повинна використовуватись в поєднанні зі стандартами серії ISO 19100. Це, зокрема, передбачає перелік стереотипів (назв) та базових типів (об'єктів – растрових і векторних, та їх атрибутів), які будуть використовуватися у схемах застосування. ISO 19136 визначає більш обмежений профіль UML, який дозволяє пряме кодування в XML-схеми для цілей передачі даних.

У схемах застосування використовуються стереотипи, які були визначені як частина профілю UML для використання в INSPIRE. Їх перелік зазначено в табл. 1. У такому значенні стереотипом є певна лінгвістична змінна (назва), яка може бути конкретизована в окремому випадку певного типу (класу) об'єкта.

Таблиця 1

Стереотипи (адаптовано з DS-D2.5)

Назва (Стереотип)	Елемент моделі	Опис стереотипу
application Schema (схема застосування)	Пакет структури	Схема застосування INSPIRE згідно з ISO 19109 та загальної концептуальної моделі
leaf (граф)	Пакет структури	Пакет структури, який не є схемою застосування та не містить інших пакетів структур
featureType (тип просторового об'єкта)	Клас	Тип просторового об'єкта є його значенням відповідно до класифікації просторових об'єктів
type (тип)	Клас	Тип, який не має прямого негайного використання, але застосовується для позначення абстрактного набору операцій, атрибутів та відношень. Цей стереотип, як правило, не повинен використовуватися у схемах застосування INSPIRE, оскільки вони знаходяться на іншому концептуальному рівні, ніж класифіковані цим стереотипом
dataType (тип даних)	Клас	Структурований тип даних без ідентичності (без просторових характеристик)
union (об'єднання)	Клас	Структурований тип даних без ідентичності, де кожного разу присутня саме одна з властивостей типу. Групування за одним із показників (зсуви площею більше 2 га)
enumeration (перелік)	Клас	Перелік (тип даних, що складаються з фіксованого списку іменованих буквених значень)
codeList (список кодів)	Клас	Список кодів – відкритий перелік, який може бути продовжений
import (значення)	Залежність	Елементи моделі пакетів вхідних даних, що імпортуються
voidable (змінна)	Атрибут, асоціативна роль	Заперечний атрибут або асоціативна роль
lifeCycleInfo (інформація про життєвий цикл)	Атрибут, асоціативна роль	Якщо у схемі застосування властивість вважається частиною інформації життєвого циклу типу просторового об'єкта, така властивість отримує цю назву
version (варіант)	Асоціативна роль	Якщо у схемі застосування асоціативна роль закінчується типом просторового об'єкта, цей стереотип означає, що значення властивості вважається його специфічною особливістю, а не просторового об'єкта загалом

Усі цільові об'єкти баз даних подаються за єдиною структурою, яка містить:

- 1) ідентифікаційні дані типу геопросторового об'єкта;
- 2) UML-діаграми моделі просторових властивостей та атрибутів типу об'єкта;
- 3) структуру таблиці бази даних для атрибутів піднабору об'єктів відповідного типу;
- 4) графічне зображення та опис просторової схеми і топології об'єктів відповідного типу.

Типи просторових об'єктів, їх взаємозв'язки та пов'язані з ними типи даних представляються у вигляді діаграм UML-класів і таблиць, в яких визначено: назва групи, назва типу об'єкта, визначення типу об'єкта, ідентифікатор типу об'єкта, опис атрибутів об'єкта з доменами їх значень, опис асоціацій об'єкта [4].

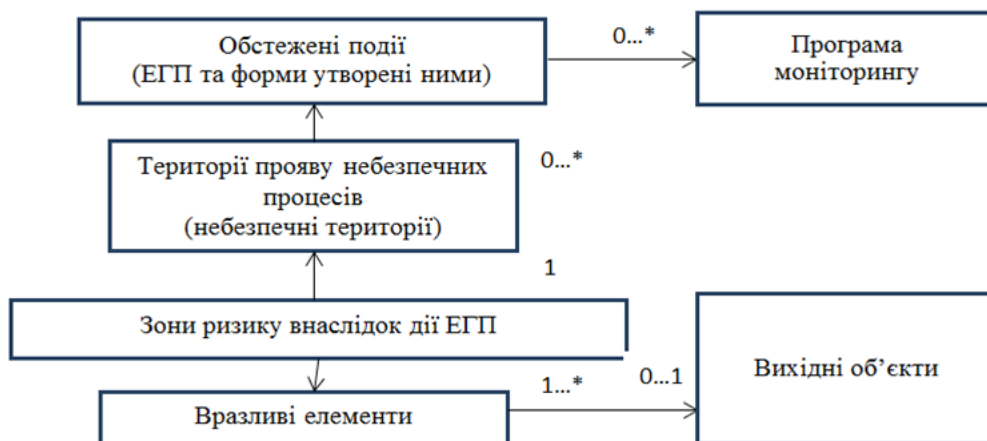


Рис. UML-діаграма принципової схеми застосування

Схема застосування (рис.) охоплює елементи, які є необхідними для опису природних зон ризику згідно з INSPIRE. Ця схема загальної моделі дозволяє користувачам моделювати такі основні поняття, як небезпеки, вразливість, вплив, ризик та обстежені події. В такій моделі поняття є абстрактними, тому можуть бути реалізовані як у векторному, так і растровому вигляді. Такий підхід забезпечуватиме створення мережі для обміну даними цих двох типів, які можуть бути результатами моделювання будь-якого з наступних чотирьох базових просторових об'єктів: 1) території прояву небезпечних процесів, 2) окремі обстежені випадки їх прояву, 3) об'єкти (соціальні, економічні, екологічні, культурні), що належать до небезпечних зон, 4) зони різних рівнів ризику. Для кожного з них пропонується 3 типи просторових об'єктів, що поділяються на класи та підкласи.

Відповідно до TWG-NZ виділяють 4 класи (типи) просторових об'єктів. Кожен просторовий об'єкт описується за допомогою уніфікованого підходу, що передбачає опис його двох основних категорій: 1) географічного місцеположення (геометрія) та відповідних йому атрибутивних даних (семантика) [5]. Тобто дані, що описують геометричну та атрибутивну складову кожного класу, є підкласами (табл. 2).

Таблиця 2

Класи та підкласи просторових об'єктів згідно з TWG-NZ

№ п/п	Класи об'єктів	Підкласи об'єктів	
		Геометрія	Покриття
1	Атрибут обстежена подія (Abstract Observed Event)	Обстежена подія вектор (Observed Event Vector)	Обстежена подія покриття (Observed Event Coverage)
2	Атрибут небезпечна територія (Abstract Hazard Area)	Небезпечна територія вектор (Hazard Area Vector)	Небезпечна територія покриття (Hazard Area Coverage)
3	Атрибут зона ризику (Abstract Risk Zone)	Зона ризику вектор (Risk Zone Vector)	Зона ризику покриття (Risk Zone Coverage)
4	Атрибут вразливий елемент (Abstract Exposed Element)	Вразливий елемент вектор (Exposed Element Vector)	Вразливий елемент покриття (Exposed Element Coverage)

Висновки і пропозиції. Запропонований підхід удосконалення моделей моніторингу земель підданих дії екзогенних геологічних процесів (ЕГП) забезпечує підвищення якості інтегрування даних, які надходять з різних джерел, сприяє раціональному їх розподілу по базах даних, а також вирішує завдання уніфікації опису структури і складу набору геопросторових даних (НГД) «Зони природних ризиків». Це дозволить у подальшому розробити каталог об'єктів та атрибутів зон природних ризиків, покращити розуміння та використання інформації із моніторингу земель, підданих дії ЕГП, необхідної для оцінювання стану земель та впливу на них небезпечних природних явищ і процесів.

Список використаних джерел

1. *Зацерковний В. І.* Використання геоінформаційних технологій в екологічному моніторингу Чернігівської області / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // *Аграрний вісник Причорномор'я. Сільськогосподарські науки.* – Одеса : ОДАУ, 2009. – Вип. 51. – С. 82–86.
2. *Беспалько Р. І.* Проблеми та перспективи моніторингу земель, що зазнають негативного впливу екзогенних геологічних процесів / Р. І. Беспалько, Р. М. Романко // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки».* – 2013. – Вип. 3 (63). – С. 375–383.
3. Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторьяк // *Інженерна геодезія.* – 2014. – № 61. – С. 58–77.
4. Drafting Team “Data Specifications” – deliverable D2.3: Definition of Annex Themes and Scope [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://inspire.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/DataSpecifications/D2.3_Definition_of_Annex_Themes_and_scope_v3.0.pdf.
5. D2.8.III.12 INSPIRE Data Specification on Natural Risk Zones – Technical Guidelines [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_NZ_v3.0.pdf.

References

1. Zatserkovnyi, V.I., Kryvoberets, S.V., Simakin, Yu.S. (2009). Vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnolohii v ekolohichnomu monitorynhu Chernihivskoi oblasti [The use of information technology in environmental monitoring Chernihiv region]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria. Silskohospodarski nauky – Black sea scientific journal*, issue 51, pp. 82–86 (in Ukrainian).
2. Bespalko, R.I., Romanko R.M. (2013). Problemy ta perspektyvy monitorynhu zemel, shcho zaznaiut nehatyvnoho vplyvu ekzohennykh heolohichnykh protsesiv [Problems and prospects Monitoring lands affected by exogenous processes]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Bulletin of National University of Water and Environmental Engineering. Ser. Technical sciences*, issue 3 (63), pp. 375–383 (in Ukrainian).
3. Shults, R.V., Tereshchuk, O.I., Annenkov, A.O., Nystoriak, I.O. (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat za suputnykovymy tekhnolohiiamy u realnomu chasi [Practical research accuracy of the coordinates for satellite technology in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, no. 61, pp. 58–77 (in Ukrainian).
4. Drafting Team “Data Specifications” – deliverable D2.3: Definition of Annex Themes and Scope. Retrieved from http://inspire.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/DataSpecifications/D2.3_Definition_of_Annex_Themes_and_scope_v3.0.pdf.
5. D2.8.III.12 INSPIRE Data Specification on Natural Risk Zones – Technical Guidelines. Retrieved from http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_NZ_v3.0.pdf.

Романко Роман Миколайович – магістр землевпорядкування та кадастру, асистент кафедри землевпорядкування та кадастру, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012, Україна).

Романко Роман Николаевич – магістр землеустрою та кадастру, асистент кафедри землеустрою та кадастру, Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича (ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, 58012, Украина).

Romanko Roman – Master of Land Management and Cadastre, lecturer-assistant of Land Management and Cadastre Department, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (2 Kotsiubynskyi Str., 58012 Chernivtsi, Ukraine).

E-mail: r.romanko@chnu.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2208-4981>

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

Шановні дописувачі!

Спочатку просимо надіслати Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів), оформлені за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології». Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до відділу науково-дослідної частини ЧНТУ.

1. Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком (Додаток А);
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів, заповнену за наведеним бланком (Додаток Б). Звертаємо Вашу увагу, що ім'я та по батькові автора(ів) **подаються повністю**;
- квитанцію скановану про сплату вартості публікації наукової статті.

2. Вимоги до наукової статті.

Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника.

Статтю можна подавати однією з трьох мов: українською, російською, англійською.

Обсяг статті повинен бути таким: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається у роздрукованому вигляді, а також надсилається електронною поштою на адресу: tst.technical.sj@gmail.com. Текст статті набирається з використанням комп'ютерних текстових редакторів Word for Windows 97/2000/XP.

У разі подання статті українською або російською мовою обов'язкове **надання перекладу статті англійською мовою** (відповідно до п. 2.9. Наказу “Про затвердження порядку формування переліку наукових фахових видань України” від 17.10.2012 р. № 1111) або **структурованої анотації** (1500-2000 знаків) англійською мовою (Times New Roman, 12 пт, курсив) (Додаток Г).

У разі подання статті англійською мовою **обов'язкове надання перекладу статті українською мовою та структурованої анотації** (1500-2000 знаків) українською та англійською мовами (Times New Roman, 12 пт, курсив).

3. Вимоги до структурованої анотації (розміщується на Web-сторінці журналу).

Анотація повинна містити стисле формулювання змісту статті, не повторювати назву статті.

Анотація повинна бути обсягом 1500–2000 знаків і подаватися окремим файлом двома мовами: мовою самого рукопису (українська, російська) та англійською мовою. Структурними елементами анотації повинні бути такі:

- актуальність теми дослідження (**Urgency of the research**);
- постановка проблеми (**Target setting**);
- аналіз останніх досліджень і публікацій (**Actual scientific researches and issues analysis**);
- виділення недосліджених частин загальної проблеми (**Uninvestigated parts of general matters defining**);
- постановка завдання (**The research objective**);
- викладення основного матеріалу (стисло) (**The statement of basic materials**);
- висновки відповідно до статті (**Conclusions**).

Без наявності розширеної анотації рукописи до розгляду не прийматимуться. Анотації передаються на рецензування разом із самою науковою статтею.

Приклад оформлення розширеної структурованої анотації наведено у Додатку Г.

4. Параметри сторінки повинні бути такими:

Формат А4 (210×297 мм).

Поля: верхнє, нижнє та бокові – 25 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

**КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ У СТАТТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ
РОЗСТАНОВКИ ПЕРЕНОСІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ СПИСКІВ. УСІ СПИСКИ
ПРОСТАВЛЯЮТЬСЯ У РУЧНОМУ РЕЖИМІ!**

5. Структура статті. Вимоги до оформлення структурних елементів статті.

5.1. УДК – шрифт Times New Roman (кегель 12), курсив, вирівнювання по лівому краю без абзацу.
– порожній рядок

5.2. Ім'я та прізвище автора (ів) – шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по центру, без абзацного відступу, курсив (якщо авторів декілька, то імена та прізвища записуються в один рядок). Дані про авторів подаються трьома мовами.

5.3. Назва статті – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу, трьома мовами.
– порожній рядок

5.4. Анотація – шрифт Times New Roman (кегель 9), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обгрунтована її актуальність (обсяг – **600–1000 знаків з пробілами**). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською (Додаток А).

5.5. Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. Ключові слова подаються трьома мовами. Кількість ключових слів – 5–7. Після ключових слів (кожною з мов) вказувати загальну кількість таблиць, рисунків та використаних джерел (Додаток А).
– порожній рядок

5.6. Основний текст – Times New Roman, кегель 12, вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, одинарний інтервал.

Основний текст статті обов'язково повинен містити такі необхідні елементи – розділи (Times New Roman, кегель 12, напівжирний):

- Постановка проблеми.
- Аналіз останніх досліджень і публікацій.
- Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.
- Мета статті.
- Виклад основного матеріалу.
- Висновки і пропозиції.
- Список використаних джерел.

Після назви розділів ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Відповідальність за наведені показники несе автор.

Рисунки і таблиці необхідно подавати у статті безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці.

Ілюстрації (рисунки та чорно-білі фотографії)

Під час виконання рисунків рекомендується використання Microsoft Visio 2007 (2003). За умови використання закладеної графіки Microsoft Word рисунки повинні бути згрупованими. Шрифт рисунків Times New Roman, кегель 12, курсив. **Рисунки не повинні виходити за межі текстового блока.**

Рисунки позначають словом «Рис.» і нумерують послідовно в межах статті. Якщо у статті є лише один рисунок, він не нумерується. Пояснювальні підписи, номер рисунка, його назву розміщують послідовно під ілюстрацією.

Наприклад:

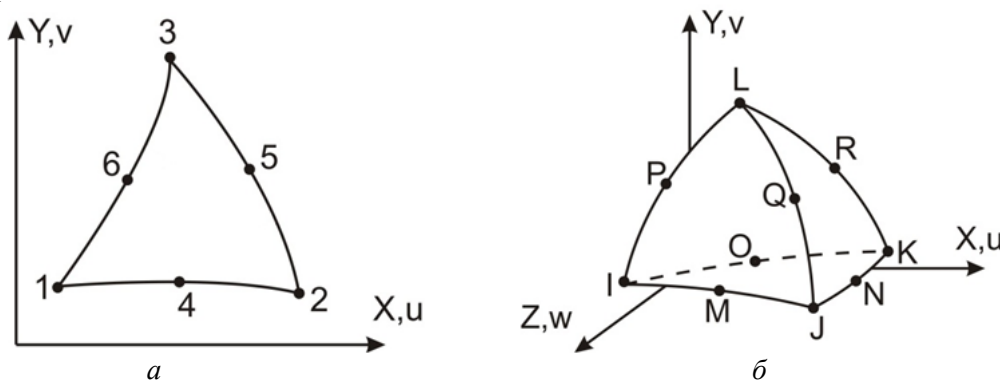


Рис. 3. Види скінченних елементів:

a – 6-вузловий плоский скінченний елемент і *б* – 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться у статті, як правило, повинен оформлятися у вигляді таблиць.

Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 12) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці (по центру, кегель 12, курсив). **Усі графи таблиць повинні мати назву.**

Наприклад:

Таблиця 1

Граничні значення режимів різання

№ досл.	V_k , м/с	$V_{дет} = V_k/60$	t , мм	$Q_{гр}$, мм ² /с	a_z , мкм	$a_{z\max}$	$n/n_{піз}$
1	20	333	0,033	11	5,32	10,17	10/6
2	40	667	0,033	13	3,04	5,83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2,01	3,78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1,64	3,07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1,59	2,84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Закінчення табл. 1».

Формули

Використовуючи формули, необхідно дотримуватися певних правил.

Великі, довгі та громіздкі формули, які мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Стиль формул: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках праворуч, не виходячи за поле. Формули необхідно вирівнювати по лівому краю сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок. Обов'язково подають розшифрування літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення (a_z)_{max}:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (1)$$

де $k_1 < 1$, $k_2 > 1$ – показники ступенів при товщині зрізу;

$F(a_z)$, $(1 - F(a_z))$ – значення інтегральної функції розподілення розрахункової товщини зрізів, які визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення a_z . Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфування в роботі [7].

– порожній рядок

5.7. Список використаних джерел необхідно складати за вимогами ВАК України (Бюлетень ВАК України № 5, 2009), розміщувати бібліографічні записи за алфавітом чи у послідовності їхніх перших згадувань в основному тексті статті.

– порожній рядок

5.8. Після списку використаних джерел подається його транслітерація латиницею (з підзаголовком: **References**), відповідно до вимог Постанови Кабінету Міністрів України № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» від 27.01.2010 р. (зі змінами від 23.12.2015 р.) або вимогам системи BGN/HCGN (для російської мови).

Примітка: після транслітерованої назви праці латинськими літерами зазначається переклад англійською мовою у квадратних дужках.

Заголовок «Список використаних джерел» і «References» слід розміщувати посередині рядка, шрифт Times New Roman, кегель 12, напівжирний, а список джерел – 11 кегель (Додаток А).

Для транслітерування літератури (References) пропонуємо скористатися online-конвекторами:

- для української мови: <http://ukrlit.org/transliteratsiia> та ін.;

- для російської мови: <http://translit-online.ru/pasport.html>

<http://translit.net/ru/>

<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>

Приклади оформлення транслітерованого списку використаних джерел наведено у Додатку В.

6. Обов'язково у кінці статті подаються відомості про авторів (трьома мовами):

- прізвище, ім'я та по батькові (повністю) – кегель 8, напівжирний;
 - науковий ступінь, вчене звання, посада автора (ів) – кегель 8;
 - місце роботи автора (ів) та адреса організації – кегель 8;
 - електронна адреса автора (ів) (Додаток А) – кегель 8.
- ID (у системі наукової ідентифікації) у **ORCID**, **ResearcherID** або у **SCOPUS**.

Наприклад: ORCID: <http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

[ResearcherID:](#)

[Scopus Author ID:](#)

7. Оплата публікації. Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **50 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією.

8. Реквізити для оплати:

14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Чернігівський національний технологічний університет.

р/р: 31254264106996, банк ДКСУ у м. Київ, МФО 820172.

Код ЗКПО: 0546 0798.

Призначення платежу: за публікацію статті «Технічні науки та технології» від _____ (ПІБ).

9. Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Всі документи, що містять підписи та печатки, повинні бути відсканованими.

Контактна особа: *Кормило Ірина Миколаївна*.

Тел. роб.: (04622) 3-42-44.

Тел. моб.: (093) 592-78-12.

E-mail: tst.technical.sj@gmail.com.

Науковий журнал «Технічні науки та технології» розміщено на сайті Чернігівського національного технологічного університету, де можна переглянути останні номери видання: <http://tst.stu.cn.ua/>

Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи, що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.

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 т. ін.).

УДК 528.4:332.3

Світлана Хрищук

**МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ЕКОБЕЗПЕЧНОГО
ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ**

Светлана Хрыщук

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОБЕЗОПАСНОГО
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ**

Svitlana Khryshchuk

METHODICAL ASPECTS OF FORMING ECOLOGICALLY SAFE LAND-TENURE

Тривалий період реформування земельних відносин, зокрема в частині створення ефективних механізмів управління земельними ресурсами, не забезпечив вирішення проблем охорони довкілля і відповідальності землекористувачів за стан земельних ресурсів. Існування вищезазначених проблем пов'язують з недосконалістю теоретичної бази і методик наукового прогнозування, формування системи збалансованого (сталого) землекористування.

Роботу присвячено вирішенню питань удосконалення методичного забезпечення щодо формування системи землекористування, обґрунтування можливостей застосування певних методів для вирішення питань екобезпечного землекористування та формулювання основних принципів екобезпечного землекористування.

Ключові слова: екобезпечне землекористування, формування системи землекористування, методичні підходи, раціональне використання, збалансоване землекористування.

Табл.: 2. Бібл.: 28.

Длительный период реформирования земельных отношений, в частности создания эффективных механизмов управления земельными ресурсами, не обеспечил решение проблем охраны окружающей среды и ответственности землепользователей за состояние земельных ресурсов. Существование вышеотмеченных проблем связывают с несовершенством теоретической базы и методик научного прогнозирования, формирования системы сбалансированного землепользования.

Работа посвящена решению вопросов совершенствования методического обеспечения относительно формирования системы землепользования, обоснования возможностей применения определенных методов для решения вопросов экобезопасного землепользования и формулировки основных принципов экобезопасного землепользования.

Ключевые слова: экобезопасное землепользование, формирование системы землепользования, методические подходы, рациональное использование, сбалансированное землепользование.

Табл.: 2. Библ.: 28.

The protracted period of reformation of the landed relations, in particular in part of creation of effective mechanisms of management the landed resources did not provide the decision of problems of guard of environment and responsibility of land tenants for the state of the landed resources. Existence of the higher marked problems is bound to imperfection of theoretical base and methodologies of scientific prognostication, forming of the system of the balanced land-tenure.

This article seeks to the decision of questions of perfection of the methodical providing in relation to forming of the system of land-tenure, ground of possibilities of application of certain methods for the decision of questions ecologically safe land-tenure and formulation of basic principles of ecosafety land-tenure.

Key words: ecologically safe land-tenure, forming of the system of land-tenure, methodical approaches, rational use, balanced land-tenure.

Tabl.: 2. Bibl.: 28.

Примітка:* якщо немає одного із компонентів, то не потрібно нічого зазначати (наприклад, **Табл. 0** не ставити).

Постановка проблеми. ...

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ...

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. ...

Мета статті. Головною метою цієї роботи є ...

Виклад основного матеріалу. ...

Висновки і пропозиції. ...

Список використаних джерел

1. *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади* : кн. 1 / [під ред. О. О. Созінова, В. І. Придатка, О. І. Лисенка]. – К. : Нічлава, 2005. – 384 с.
2. *Беспалько Б. І.* Теоретичні основи оптимізації земель сільськогосподарського призначення / Р. І. Беспалько, С. Ю. Хрищук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування – 2012. – № 2 (72). – С. 224–230.
3. *Бриндзя О. З.* Теоретико-методологічні передумови раціонального землекористування [Електронний ресурс] / О. З. Бриндзя. – Режим доступу : <http://economics-of-nature.net/uploads/arhiv/2008/Bryndzja.pdf>.
4. *Гродзинський М. Д.* Основи ландшафтної екології : [підручник] / М. Д. Гродзинський. – К. : Либідь, 1993. – 224 с.
5. *Даниленко Б. В.* Перспективні напрями розвитку еколого-правового регулювання землекористування / Б. В. Даниленко // Науковий вісник ЧНУ. – 2011. – Вип. 597. Правознавство. – С. 79–83.
6. *Екологічні проблеми землеробства* / за ред. І. Д. Примака. – К. : Центр учбової літератури, 2010. – 456 с.
- ...
22. *Про землеустрій* [Електронний ресурс] : Закон України від 22 травня 2003 року № 858-IV. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/go/858-15>.
- ...

References

1. Sozinov, O.O., Prydatok, V.I. & Lysenko, O.I. (eds.) (2005). *Ahrobioriznomanittia Ukrainy: teoriia, metodolohiia, indykatory, pryklady [Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators, Examples]*. Book 1. Kyiv: Nichlava (in Ukrainian).
2. Bespalko, B.I., Khryshchuk, S.Yu. (2012). *Teoretychni osnovy optymizatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia [The theoretical basis of optimization of agricultural land]*. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia – Proceedings of the National University of Water and Environment*, no. 2 (72), pp. 224–230 (in Ukrainian).
3. Bryndzia, O.Z. (2008). *Teoretyko-metodolohichni peredumovy ratsionalnoho zemlekorystuvannia [Theoretical and methodological prerequisites rational land use]*. Retrieved from <http://economics-of-nature.net/uploads/arhiv/2008/Bryndzja.pdf>.
4. Hrodzynskiy, M.D. (1993). *Osnovy landshaftnoi ekolohii [Basics of Landscape Ecology]*. Kyiv: Lybid (in Ukrainian).
5. Danylenko, B.V. (2011). *Perspektyvni napriamy rozvytku ekoloho-pravovoho rehuliuвання zemlekorystuvannia [Promising areas of environmental and legal regulation of land use]*. *Naukovyi visnyk ChNU – Chernivtsi University Scientific Herald*, issue 597. Jurisprudence, pp. 79–83 (in Ukrainian).
6. Prymaka, I.D. (2010). *Ekolohichni problemy zemlerobstva [The environmental problems of agriculture]*. Kyiv: Tsentru uchbovoi literatury (in Ukrainian).
- ...
22. *Pro zemleustrii: Zakon Ukrainy vid 22 travnia 2003 roku № 858-IV [On Land Management: Law on May 22, 2003 № 858-IV]*. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/go/858-15>.
- ...

Хрищук Світлана Юрївна – аспірант КНУБіА, асистент кафедри землевпорядкування та кадастру, Чернівецький національний університету імені Юрія Федьковича (вул. М. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58000, Україна).

Хрышчук Светлана Юрьевна – аспірант КНУСиА, асистент кафедри землеустроювання та кадастру, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (ул. М. Коцюбинського, 2, г. Чернівці, 58000, Україна).

Khryshchuk Svitlana – Phd student, assistant of Department of Organization of the Use of Land and Cadastre, Chernivtsi national university of the name of Yuriy Fed'kovich (2 Kotsubynskiy Str., 58000 Chernivtsi, Ukraine).

E-mail: sv.hryshchuk@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6542-905X>

ResearcherID: [researcherid/D-9590-2016](http://orcid.org/0000-0001-6542-905X)

Додаток Б*Бланк для оформлення довідки про автора***ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ**

Дані про авторів	Українською мовою	Російською мовою	Англійською мовою
Прізвище			
Ім'я			
По батькові			
Науковий ступінь			
Вчене звання			
Почесне звання			
Місце роботи			
Посада			
Назва статті			
Обсяг статті			
Поштова адреса, на яку необхідно надсилати примірник збірника			
Контактна інформація	роб. тел.		
	дом. тел.		
	моб. тел.		
	e-mail		

Книга

Автор (и) (рік видання). *Транслітерована назва [Переклад назви англійською мовою]*. Місто: Видавництво (in Ukrainian)/(in Russian).

Новик Ф. С. Математические методы планирования экспериментов в металлведении / Ф. С. Новик. – М. : МИСИС, 1972. – 105 с.	Novik, F.S. (1972). <i>Matematicheskie metody planirovaniia eksperimentov v metallovedenii [Mathematical methods for design of experiments in metal]</i> . Moscow: MISIS (in Russian).
Пивоваров А. А. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов / А. А. Пивоваров, А. П. Тищенко. – Днепропетровск : Грек, 2006. – 225 с.	Pivovarov, A.A. & Tishchenko, A.P. (2006). <i>Neravnovesnaia plazma protsessy: aktivatsii vody i vodnykh rastvorov [The nonthermal plasma: the activation of the processes of water and aqueous solutions]</i> . Dnepropetrovsk: Grek (in Russian).
Устройство для осаждения тонких пленок с бомбардировкой быстрыми атомами аргона / А. С. Метель, В. П. Болбуков, М. А. Волосова, С. Н. Григорьев, Ю. А. Мельник // Приборы и техника эксперимента. – 2014. – № 3. – С. 114–121.	Metel, A.S., Bolbukov, V.P., Volosova, M.A., Grigorev, S.N., Melnik, Yu.A. (2014). <i>Ustroistvo dlia osazhdeniia tonkikh plenok s bombardirovkoii bystryimi atomami argona [An apparatus for depositing thin films with argon fast atom bombardment]</i> . <i>Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and Experimental Techniques</i> , no. 3, pp. 114–121 (in Russian).

Якщо більше шести авторів, сьомий та наступні автори позначаються «et al.».

Якщо немає даних про автора, але є дані про редактора, на початок посилання виносять дані про нього:

Редактор (и) (позначається (ed.)/(eds.)) (рік видання). *Транслітерована назва [Переклад назви англійською мовою]*. Місто: Видавництво. (in Ukrainian)/(in Russian).

Сопrotivlenie материалов / под ред. Г. С. Писаренко. – К. : Гостехиздат Украины, 1963. – 792 с.	Pisarenko, G.S. (ed.) (1963). <i>Soprotivlenie materialov [Strength of materials]</i> . Kyiv: Gostekhizdat Ukrainy (in Russian).
---	--

Багатотомне видання

Автор (и) / Редактор (и) (ed.)/(eds.) (рік видання). *Транслітерована назва [Переклад назви англійською мовою]*. Том(и) (позначається (Vol.) / (Vols.)). Місто: Видавництво (in Ukrainian)/(in Russian).

Электротехнический справочник : в 4 т. / под общ. ред. В. Г. Герасимова. – 9-е изд. стер. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – Т. 1: Общие вопросы. Электротехнические материалы. – 400 с.	Gerasimov, V.G. (ed.) (2003). <i>Elektrotekhnicheskii spravochnik [Electrical Engineering Handbook]</i> . (Vols. 1–4) (9 th ed., repr.). <i>T 1. Obshchie voprosy Elektrotekhnicheskie materialy – General issues. Electrotechnical materials</i> . Moscow: Izd-vo MEI (in Russian).
--	---

Частина книги

Автор (и) (рік видання). *Транслітерована назва частини книги [Переклад назви частини книги англійською мовою]*. *Транслітерована назва книжки – Переклад назви книги* (те, що пишемо після //). Місто: Видавництво, сторінки (pp.).

Аномальная анатомия коронарных артерий / А. П. Савченко, О. В. Черкавская, Б. А. Руденко, П. А. Болотов // Интервенционная кардиология. Коронарная ангиография и стентирование. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 448 с.	Savchenko, A.P., Cherkavskaya, O.V., Rudenko, B.A. & Bolotov, P.A. (2010). <i>Anomalnaya anatomiya koronarnykh arteriy [Deviant anatomy of coronary arteries]</i> . <i>Interventsionnaya kardiologiya. Koronarnaya angiografiya i stentirovanie – Interventional cardiology. Coronarography and stenting</i> . Moscow: GEOTAR-Media, pp. 60–79 (in Russian).
---	--

Перекладні видання

Автор (и) (рік видання). *Транслітерована назва [Переклад назви англійською мовою]* (прізвище перекладача, Trans.). Місто: Видавництво (in Ukrainian)/(in Russian).

Дезоер Ч. А. Основы теории цепей. / Ч. А. Дезоер, Э. С. Ку ; пер. с англ. под ред. С. М. Петрова. – М. : Связь, 1976. – 200 с.	Dezoer, Ch.A. & Ku, E.S. (1976). <i>Osnovy teorii tsepey [Fundamentals of Circuit Theory]</i> (Petrov, S.M., Trans.). Moscow: Sviiaz (in Russia).
--	---

Перероблені та доповнені видання

Автор (и) (рік видання). *Транслітерована назва [Переклад назви англійською мовою]* (____^{nd/th} ed., rev.). Місто: Видавництво (in Ukrainian)/(in Russian).

Деит К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Деит. – 8-ое издание, перераб и доп. – М. : Вильямс, 2005. – 1328 с.	Deit, K.Dzh. (2005). <i>Vvedenie v sistemy baz dannykh [Introduction to Database Systems]</i> (8 th ed., rev. and enl.). Moscow: Viliams (in Russian).
---	---

Стаття

– з періодичного видання:

Автор (и) (рік видання, місяць видання (для журналу), дату видання (для газети)) Транслітерована назва статті [Переклад назви статті англійською мовою]. *Транслітерована назва періодичного видання – Назва періодичного видання англійською мовою*, том (vol.), випуск (issue), номер (no.), сторінки (pp.).

Хоменко І. М. Про визначення гранично допустимих зазорів у шарнірних спряженнях і зубчастих зачепленнях / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2008. – № 4. – С. 115–119.	Khomenko, I.M. & Kindrachuk, M.V. (2008). Pro vyznachennia hranychno dopustymykh zazoriv u sharnirnykh spriazhenniakh i zubchastykh zacheplenniakh [On the determination of the maximum permissible gaps in articulated coupling and gears]. <i>Problemy trybolohii – Problems of Tribology</i> , no. 4, pp. 115–119 (in Ukrainian).
---	--

– у збірнику конференцій:

Автор (и) (рік видання, місяць видання (для журналу), дату видання (для газети)) Транслітерована назва статті [Переклад назви статті англійською мовою]. Proceedings of the / Proceedings from *Транслітерована назва конференції – Назва конференції англійською мовою* (країна, місто, дата). (ed./eds.) (редактори, редколегія – якщо є). Місто: Видавництво, сторінки (pp.).

Гапонов Й. М. Лабораторне обладнання для дослідження цифрових систем автоматичного керування двигунами постійного струму / Й. М. Гапонов // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : зб. наук. праць X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів (28–29 березня 2012 р., Кременчук). – Кременчук : КрНУ, 2012. – С. 63–64.	Gaponov, Y.M. (2012). Laboratorne obladnannia dlia doslidzhennia tsvyrovkykh system avtomatychnoho keruvannia dvyhunamy postiinoho strumu [The laboratory equipment for study of the automatic digital control systems of DC electric drives]. Proceedings from <i>Elektromekhanichni ta enerhetychni systemy, metody modeliyvannia ta optymizatsii: zb. nauk. prats X Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistiv – Elektromechanical and Energy Systems, Modeling and Optimization Methods. Conference proceedings of the 10 th International conference of students and young researches</i> (Kremenchuk, March 28–29, 2012). Kremenchuk: KrNU, pp. 63–64 (in Ukrainian).
--	--

Електронні ресурси

– періодичне видання:

Автор (и) (Дата публікації). Назва статті транслітерована [Назва статті англійською мовою]. *Джерело – Джерело англійською мовою*, том (vol.), випуск (issue), номер (no.), сторінки (pp.). Retrieved from адреса сайта.

Власенко І. В. Принципи функціонування екологічно безпечного землекористування в сільському господарстві [Електронний ресурс] / І. В. Власенко // Землекористування. – 2014. – № 1. – С. 136–141 – Режим доступу : http://natureus.org.ua/repec/archive/1_2014/24.pdf .	Vlasenko, I.V. (2014). Pryntsyvy funktsionuvannia ekolohobezpechnoho zemlekorystuvannia v silskomu hospodarstvi [Principles of ecologically safe land use in agriculture]. <i>Zemlekorystuvannia – Land Using</i> , no. 1, pp. 136–141. Retrieved from http://natureus.org.ua/repec/archive/1_2014/24.pdf .
--	--

– книга:

Автор (и) (рік видання). *Транслітерована назва [Переклад назви англійською мовою]*. Місто: Видавництво. Retrieved from адреса сайта.

Портаев Л. П. Техническая механика [Электронный ресурс] : учеб. для техникумов / Л. П. Портаев, А. А. Петраков, В. Л. Портаев ; под ред. Л. П. Портаева. – М. : Сройиздат, 1987. – 464 с. – Режим доступа : http://bookree.org/reader?file=759079&pg=1 .	Portaev, L.P. (ed.), Petrakov, A.A. & Portaev, V.L. <i>Tekhnicheskaiia mekhanika [Technical mechanics]</i> . Moscow: Sroiizdat. Retrieved from http://bookree.org/reader?file=759079&pg=1 .
---	--

– сайт:

Транслітерована назва сайта [Site of (назва сайта англ. мовою)]. Адреса сайта. Retrieved from адреса сайта.

Документарні операції [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Укрексимбанку. – Режим доступу : https://www.eximb.com/ukr/sme/everyday/lc/ .	<i>Dokumentarni operatsii [Documentary operations]. Ofitsiyni sait Ukreksimbanku [Site of Ukreksimbank]</i> . www.eximb.com. Retrieved from https://www.eximb.com/ukr/sme/everyday/lc/ .
---	---

Автореферати дисертацій та дисертації

– автореферати дисертацій

Автор (рік видання). *Транслітерована назва дисертації [Переклад назви дисертації англійською мовою]*. *Extended abstract of candidate's thesis* (для кандидатської) / *Extended abstract of Doctor's thesis* (для докторської). Місто: Видавництво.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Абрамова Л. С. Обоснование технологии поликомпонентных продуктов питания с заданной структурой и комплексом показателей пищевой адекватности на основе рыбного сырья : автореф. ... дис. д-ра техн. наук / Л. С. Абрамова. – Калининград, 2003. – 53 с.	Abramova, L.S. (2003). Obosnovanie tekhnologii polikomponentnykh produktov pitaniia s zadavaemoi strukturoi i kompleksom pokazatelei pishchevoi adekvatnosti na osnove rybnogo syria [Justification multi-component food technology with defined structure and a set of indicators of food adequacy on the basis of fish raw material]. <i>Extended abstract of Doctor's thesis</i> . Kaliningrad (in Russian).
---	---

– дисертації

Автор (рік видання). *Транслітерована назва дисертації* [Переклад назви дисертації англійською мовою]. *Candidate's thesis* (для кандидатської) / *Doctor's thesis* (для докторської). Місто: Видавництво.

Блинкова С. А. Совершенствование методики расчета энергообеспеченности скоростных пассажирских перевозок на железных дорогах постоянного тока : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.07 / Блинкова Светлана Александровна; [Уральский государственный университет путей сообщения]. – Екатеринбург, 2016. – 120 с.	Blinkova, S.A. (2016). Sovershenstvovanie metodiki rascheta energoobespechennosti skorostnykh passazhirskikh perevozok na zheleznykh dorogakh postoiannogo toka [Improving the method for calculating the energy supply of high-speed passenger railways a direct current]. <i>Candidate's thesis</i> . Ekaterinburg: Uralskii gosudarstvennyi universitet putei soobshcheniia (in Russian).
---	--

Законодавчі та нормативні документи

Транслітерована назва законодавчого акта [Переклад назви *законодавчого акта* англійською мовою]. (рік, місяць, число журналу/газети, де опубліковано нормативний акт). *Транслітерована назва журналу/газети* – *Назва журналу/газети англійською мовою*. Номер (No.), сторінки (pp.)/стаття (article).

Господарський кодекс України : станом на 16 січня 2003 р. // Відомості Верховної Ради України. – К. : Парлам. вид-во, 2003. – 192 с.	Hospodarskyi kodeks Ukrainy [The Commercial Code of Ukraine]. (2003, January 16). <i>Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy – Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine</i> . Kyiv: Parlam. vyd-vo, 192 p.
Про інноваційну діяльність : Закон України від 4 липня 2002 року № 40–IV // Голос України. – 2002. – 9 серп. (№ 144). – С. 10–12.	Pro innovatsiinu diialnist : Zakon Ukrainy vid 4 lypnia 2002 roku № 40–IV [Law of Ukraine on innovative activity from July 4, 2002 № 40–IV]. (2002, August 9). <i>Holos Ukrainy – Voice of Ukraine</i> . No. 144, pp. 10–12.
Про зниження ціни на природний газ : Постанова Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2013 р. № 951 // Урядовий кур'єр. – 2014. – 9 січня (№ 3).	Pro znyzhennia tsiny na pryrodnyi haz : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 hrudnia 2013 r. № 951 [About the price decrease on natural gas: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from December 30, 2013 № 951]. (2014, January 9). <i>Uriadovyi kurier – Governmental Courier</i> . No. 3.

Стандарти

Системи управління якістю. Вимоги : ДСТУ ISO 9001-2001. – [Чинний від 2001-06-27]. – К. : Держстандарт України, 2001. – 25 с. – (Національні стандарти України).	Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy [Quality Management Systems. Requirements]. (2001). <i>DSTU ISO 9001-2001 from 27th June 2001</i> . Kyiv: Derzhstandart Ukraine (in Ukrainian).
--	---

Патенти

Патент 2280590 (РФ) Способ ориентирования по крену летательного аппарата с оптической головкой самонаведения / Большаков М.В., Кулаков А.В., Лавренов А.Н., Палкин М. В. ; патентообладатель Автономная некоммерческая организация "Центр "Бизнес-развитие". – № 2004119379/11 ; заявл. 10.12.2005 ; опубл. 27.07.2006, Бюл. № 8.	Bolshakov, M.V., Kulakov, A.V., Lavrenov, A.N. & Palkin, M.V. (2006). Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.
---	--

Примітки:

1. Назва міста англійською пишеться повністю.
2. Список використаних джерел (References) повинен бути оформлений за міжнародним бібліографічним стандартом APA (<http://www.bibme.org/citation-guide/APA/book>).

Звертаємо Вашу увагу! Комп'ютерний переклад анотації та ключових слів англійською мовою категорично заборонено!!!

*UDC 621.3.05**Volodymyr Kazymyr, Andrii Mokrohuz***INFORMATION TECHNOLOGIES OF MOBILE APPLICATIONS DEVELOPMENT**

Urgency of the research. Many mobile applications appear nowadays. Their amount have been growing simultaneously with different technologies and methodologies every day. Thus, consideration of information technologies of mobile application development is important and critical task.

Target setting. Amount of information technologies of mobile application development do not allow clear identification what technology to use and when this technology can be applied.

Actual scientific researches and issues analysis. Many scientists from all over the world approached the issue of selection appropriate technology of software development for mobile devices from different directions.

Uninvestigated parts of general matters defining. Despite the fact that many researches have been carried out it is still hard to say what the best approach in development of mobile application is. Variety of technologies and methodologies sometimes make it easy to make a mistake in selection of the direction to take for mobile software development. Thus, classification of the available technologies is required.

The research objective. In this paper, classification of mobile applications was presented alongside with technologies, which can be used for development of mobile applications.

The statement of basic materials. A native application is an application that has been developed for use on a particular operation system or platform or device. A web application is an application that is stored on remote server and users have access to the application over the Internet via browser interface. Web apps are very good solution for different types of devices and platforms. A hybrid application is an application that combines elements of native and web applications. Therefore, hybrid app development combines advantages and disadvantages related to web and native apps.

Conclusions. Mobile device applications have some traits, which other types of applications does not have. Type of the mobile application should be chosen accordingly to the requirements technical limitation resources available and needs.

Key words: mobile application, web application, HTTP, client-server.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 3 (5)

Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Коректор	О.С. Смелова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко

Підписано до друку 11.11.2016. Формат 60x84/8. Друк різнографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 32,78.
Тираж 100 пр. Замовлення № 338/16.

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.