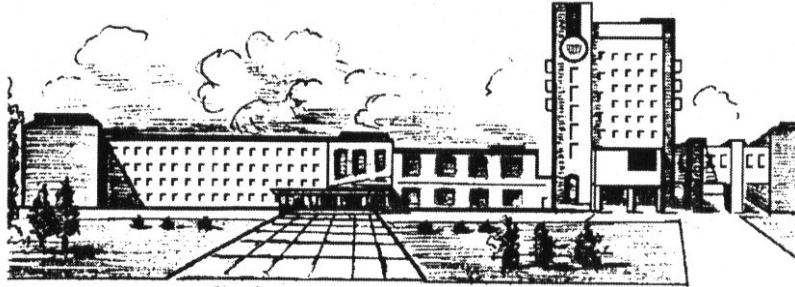


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

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



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (6)

Чернігів 2016

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6
Т38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 10 від 28.11.2016 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.

Технічні науки та технології : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т, 2016. – № 4 (6). – 248 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, 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;

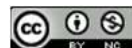
Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

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;

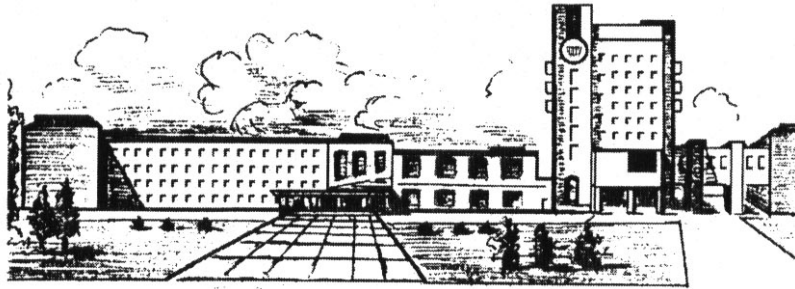
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;

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 № 4 (6)

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 № 10 dated 28.11.2016). 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. – № 4 (6). – 248 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, 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;

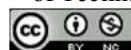
Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

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>Бакалов В., Скрипник С., Чередніченко П., Ігнатенков О.</i> Дослідження впливу геометричних параметрів приймально-охолоджуючого обладнання на ширину формованої полімерної плівки	9
<i>Синюк О.</i> Метод розрахунку ефективних пружних властивостей полімерів з орієнтованою структурою.....	16

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Кальченко В., Венжега В., Следнікова О., Кальченко Д.</i> Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей.....	25
<i>Кальченко В., Кальченко В., Єрошенко А., Сіра Н.</i> Теоретичне та експериментальне дослідження процесу зняття припуску, зносу круга, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування циліндричних та ступінчатих валів зі схрещеними осями деталі та круга	35
<i>Гончар Н., Степанов Д., Кучугуров М.</i> Экономическое обоснование выбора варианта операции финишной обработки кромок хвостовиков лопаток ГТД	44
<i>Єрошенко А., Палій А.</i> Моделювання сил різання в робочих процесах абразивного шліфування.....	53
<i>Рудик А., Следнікова О., Подзолкіна А., Куций О.</i> Вибір режимів ефективного шліфування поверхонь обертання.....	62
<i>Кологойда А.</i> Визначення силових залежностей при заточуванні голчастої гарнітури	70
<i>Литвин О.</i> Методології діагностування та контролю роботи ГПА.....	76

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

<i>Фальченко Ю., Петрушинець Л., Устінов А., Мельниченко Т., Новомлинець О., Гусарова І.</i> Дифузійне зварювання у вакуумі тонколистового нікелевого сплаву	87
--	----

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Зайцев С., Башиїнська О., Камак Ю., Горлинський Б.</i> Дослідження методів підвищення достовірності інформації сучасних безпілотних авіаційних комплексів	97
<i>Литвинов В., Посадская И.</i> Проектирование формализованного представления предметной области исходя из ее текстово-графического описания	107
<i>Казимир В., Заровський Р., Радченко А.</i> Метод нормалізації зображення автомобільного номера при його розпізнаванні засобами відеоспостереження.....	120
<i>Казимир В., Карпачев І.</i> Забезпечення контролю доступу застосувань методом системної безпеки на основі вбудованих моделей загроз	131
<i>Стеценко І., Лещенко К.</i> Інтелектуальний компонент візуального програмування стохастичних мереж Петрі.....	139
<i>Зубань Ю., Лаврик Т., Іванець С.</i> Інтегроване середовище розроблення дистанційних курсів на основі проектного підходу	148
<i>Balaz V., Vagas M., Semjon J., Rusnak R.</i> Assembly workstation with visual system OMRON F150-3 for the recognition of components	155
<i>Janos R., Sukop M., Varga J., Kubak V., Jezny J.</i> Precise positioning actuators with stepper motor.....	162
<i>Janos R.</i> Mobility of self reconfiguring systems of robots platform.....	166
<i>Jurus O., Sukop M., Spak M., Stofa M.</i> Extension functional properties of robot	171
<i>Semjon J., Vagas M., Balaz V.</i> The proposal of modules for intelligent end-effectors	174

<i>Sukop M., Varga J., Janos R., Spak M., Jurus O.</i> Poor optical sensor for mobile robots in education.....	178
<i>Tuleja P.</i> Working accuracy of industrial robots and methodology for its verification	182
<i>Vagas M., Balaz V., Semjon J., Putala J.</i> Methodological process for creation of palletizing – assembly workplace	189
<i>Varga J., Janos R., Sukop M., Hajduk M., Duchovic P., Bezak M.</i> Measurement of bead wire circumference via optical sensor	194
<i>Varga J., Janos R., Sukop M., Hajduk M., Duchovic P., Bezak M.</i> The proposal of two methods for measure weight of bead wires.....	200
<i>Zbojovsky J., Liptai P., Moravec M.</i> Modelling and calculating the shielding effectiveness of building materials	205

РОЗДІЛ V. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Челябієва В., Костюченко А., Семенюк О.</i> Використання природних антиоксидантів у виробництві борошняних кондитерських виробів	211
<i>Гора Р., Ігнатенко П.</i> Матеріали для виробів з деревини	218

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<i>Мартинов С., Мінаєва Н., Куницький С.</i> Очистка підземних вод для питних цілей у баштових водознезалізнюючих установках.....	224
<i>Сємака О.</i> Комплексний підхід до очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів....	230

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ	237
---	------------

CONTENT

SECTION I. MECHANICS

<i>Bakalov V., Skrypnyk S., Cherednichenko P., Ihnatenkov A.</i> Study of geometric parameters of foster-cooling equipment on the width of the formability of the polymer film	9
<i>Synyuk O.</i> The method of calculating effective resilient properties of oriented polymers	16

SECTION II. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING
AND MOTOR TRANSPORT

<i>Kalchenko V., Venzheha V., Sliednikova O., Kalchenko D.</i> Theoretical and experimental investigations process stock removal, wheels wear, forming accuracy and thermal voltage at grinding of ends part.....	25
<i>Kalchenko V., Kalchenko V., Yeroshenko A., Sira N.</i> Theoretical and experimental investigations process stock removal, wheel wear, forming accuracy and thermal voltage at grinding of cylindrical and stepped shafts with crossed axes of part and wheel	35
<i>Honchar N., Stepanov D., Kuchugurov M.</i> Economic substantiation of choosing of shank of GTE blades edges finishing	44
<i>Yeroshenko A., Paliy A.</i> Modeling of cutting forces in the working processes of abrasive grinding	53
<i>Rudyk A., Sliednikova O., Podzolkina A., Kutsiy O.</i> Selection modes for effective grinding surface rotation.....	62
<i>Kolohoida A.</i> Determining the cutting forces during clothing wire are being grinded.....	70
<i>Lytvyn O.</i> Methodologies of diagnosis and control of GPU.....	76

SECTION III. WELDING TECHNOLOGIES

<i>Falchenko Yu., Petrushynets L., Ustinov A., Melnichenko T., Novomlynets O., Gusarova I.</i> Diffusion welding in vacuum thin sheet of nickel alloy.....	87
--	----

SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Zaitsev S., Bashinskaya A., Camac Yu., Horlynskyi B.</i> Research methods of increasing information reliability of current unmanned aviation systems.....	97
<i>Lytvynov V., Posadska I.</i> Domain formalized presentation design based on its text and graphic descriptions	107
<i>Kazymyr V., Zarovsky R., Radchenko A.</i> Normalization method of license plate image in case of its recognition by means of video surveillance	120
<i>Kazymyr V., Karpachev I.</i> Application's control supply to system security method based on embedded threat models	131
<i>Stetsenko I., Leshchenko K.</i> Stochastic Petri nets visual programming intellectual component	139
<i>Zuban Yu., Lavryk T., Ivanets S.</i> Integrated development environment for distant courses based on project approach.....	148
<i>Balaz V., Vagas M., Semjon J., Rusnak R.</i> Assembly workstation with visual system OMRON F150-3 for the recognition of components	155
<i>Janos R., Sukop M., Varga J., Kubak V., Jezny J.</i> Precise positioning actuators with stepper motor.....	162
<i>Janos R.</i> Mobility of self reconfiguring systems of robots platform.....	166
<i>Jurus O., Sukop M., Spak M., Stofa M.</i> Extension functional properties of robot	171
<i>Semjon J., Vagas M., Balaz V.</i> The proposal of modules for intelligent end-effectors	174
<i>Sukop M., Varga J., Janos R., Spak M., Jurus O.</i> Poor optical sensor for mobile robots in education.....	178

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

<i>Tuleja P.</i> Working accuracy of industrial robots and methodology for its verification	182
<i>Vagas M., Balaz V., Semjon J., Putala J.</i> Methodological process for creation of palletizing – assembly workplace	189
<i>Varga J., Janos R., Sukop M., Hajduk M., Duchovic P., Bezak M.</i> Measurement of bead wire circumference via optical sensor	194
<i>Varga J., Janos R., Sukop M., Hajduk M., Duchovic P., Bezak M.</i> The proposal of two methods for measure weight of bead wires	200
<i>Zbojovsky J., Liptai P., Moravec M.</i> Modelling and calculating the shielding effectiveness of building materials	205

SECTION V. TECHNOLOGIES OF WOODWORKING, LIGHT AND FOOD INDUSTRY

<i>Cheliabiieva V., Kostyuchenko A., Semenyuk H.</i> The use of natural antioxidants for the manufacture of preserved pastry goods	211
<i>Gora R., Ihnatenko P.</i> Materials for wood products	218

SECTION VI. TECHNOLOGIES OF LABOUR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

<i>Martynov S., Minaeva N., Kunitskyi S.</i> Groundwater purification for drinking purposes in tower deferrization installations	224
<i>Siemaka O.</i> A comprehensive approach cleaning of soil layers from oil	230

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES

237

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

УДК 678.057.5

Валерій Бакалов, Софія Скрипник, Петро Чередніченко, Олександр Ігнатенков

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЙМАЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ НА ШИРИНУ ФОРМОВАНОЇ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

Валерий Бакалов, София Скрипник, Петр Чередниченко, Александр Игнатенков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНО-ОХЛАЖДАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ШИРИНУ ФОРМУЕМОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ

Valery Bakalov, Sofia Skrypnyk, Petr Cherednichenko, Alexander Ihnatentkov

STUDY OF GEOMETRIC PARAMETERS OF FOSTER-COOLING EQUIPMENT ON THE WIDTH OF THE FORMABILITY OF THE POLYMER FILM

Полімерні плівки знаходять все більше застосування як пакувальні матеріали у різних галузях промисловості. Існуючі методи розрахунку не дозволяють визначити ширину формованої полімерної плівки залежно від геометричних параметрів приймально-охолоджуючого обладнання. Це стримує впровадження такого обладнання у промисловість.

Робота присвячена розробленню математичної моделі процесу витягування плоскої полімерної плівки між плоскощільною головкою і приймально-охолоджуючим валком, а також процесу витягування і звуження ширини плівки на охолоджувальному валку.

Математична модель дозволяє визначити вплив: геометричних розмірів установки (діаметра приймально-охолоджуючого валка, відстані від нього до плоскощільної головки) і коефіцієнта тертя полімерної плівки про приймально-охолоджуваний валок на ширину і товщину полімерної плівки, що виробляється.

Ключові слова: моделювання, полімерна плівка, формування, витягування, ширина плівки, коефіцієнт тертя, приймально-охолоджуючий валок.

Рис.: 6. Бібл.: 4.

Полимерные пленки находят все большее применение в качестве упаковочных материалов в различных отраслях промышленности. Существующие методы расчета не позволяют определить ширину формируемой полимерной пленки в зависимости от геометрических параметров приемно-охлаждающего оборудования. Это сдерживает внедрение такого оборудования в промышленность.

Работа посвящена разработке математической модели процесса вытягивания плоской полимерной пленки между плоскощелевой головкой и приемно-охлаждающим валиком, а также процесса вытягивания и сужения ширины пленки на охлаждающем валике.

Математическая модель позволяет определить влияние: геометрических размеров установки (диаметра приемно-охлаждающего валика, расстояния от него до плоскощелевой головки) и коэффициента трения полимерной пленки о приемно-охлаждаемый валик на ширину и толщину полимерной изготавливаемой пленки.

Ключевые слова: моделирование, полимерная пленка, формование, вытягивание, ширина пленки, коэффициент трения, приемно-охлаждающий валик.

Рис.: 6. Библ.: 4.

Polymer films are increasingly used as packaging materials in various industries. There is not possible to determine the width of the formed polymer film, depending on the geometrical parameters of two-way cooling equipment with existing methods of calculation. It is hamper the introduction of such equipment in the industry.

The article is dedicated to the development of a mathematical model of process of stretching a flat polymer film between the flat die and the cooling roller and process of stretching and narrowing the width of the film on the cooling roll.

The proposed mathematical model is allow to determine the effect of: geometrical dimensions of equipment (the diameter of cooling roll, the distance from it to a flat die) and the friction coefficient of a polymer film on the cooling roll by the width and thickness of the polymer film products.

Key words: modeling, polymer film, molding, extrusion, film width, coefficient of friction, receiving and cooling roll.

Fig.: 6. Bibl.: 4.

Постановка проблеми. Полімерні плівки знаходять все більше застосування як пакувальні матеріали в різних галузях промисловості. Існуючі методи розрахунку не дозволяють визначити ширину формованої полімерної плівки залежно від геометричних параметрів приймально-охолоджуючого обладнання. Це стримує впровадження такого обладнання у промисловість.

У процесі виробництва плівки методом плоскощільної екструзії, найбільший вплив на якість виробленої плівки справляють два вузли – екструзійна головка, яка формує по-

лімерну плівку з розплаву і приймально-охолоджуючий валок, який витягує й охолоджує плівку [1; 2]. Приймально-охолоджуючий валок встановлюється за екструзійною головкою і забезпечує витягуванням необхідну товщину, ширину плівки й охолоджує її до необхідної температури.

У зв'язку з цим на якість полімерної плівки впливають такі чинники:

- реологічні процеси, які проходять в екструзійній голівці;
- процес витягування полімерної плівки, який має місце на ділянці між екструзійною головкою та охолоджуючим валком;
- процес витягування полімерної плівки на охолоджуючому валку, який супроводжується зміною ширини плівки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1; 2] представлена розрахункова схема для визначення ширини і товщини полімерної плівки при її витягуванні між плоскощільною головкою і приймально-охолоджуючим валком. Представлена розрахункова схема базується на тому, що:

- сила тертя між полімерною плівкою і валком прикладена в одній точці;
- сила, яка витягує полімерну плівку, також додана в одній точці і спрямована перпендикулярно осі валка.

Такі припущення не зовсім точно описують процес витягування полімерної плівки між плоскощільною головкою і охолоджуючим валком [1; 2].

Невирішені питання витягування плівки. Відомо [1–3], що витягувальна сила зменшується від максимального значення в точці дотику полімерної плівки приймально-охолоджуючого валка до мінімального значення, яке існує у плівці після проходження нею приймально-охолоджуючого валка.

У зв'язку з цим ширина і товщина полімерної плівки, мають бути іншими в порівнянні зі значеннями, розрахованими за формулами робіт [1; 2].

Мета роботи. Робота присвячена розробленню математичної моделі процесу витягування плоскою полімерної плівки між плоскощільною головкою і приймально-охолоджуючим валком, а також процесу витягування і звуження ширини плівки на охолоджувальному валку.

Викладення основного матеріалу. На рис. 1 показана схема дії сил на полімерну плівку при взаємодії її з охолоджуючим валком. Зі схеми видно, що перед валком сила натягу полімерної плівки дорівнює T_0 , а після валка мінімальна T_1 .

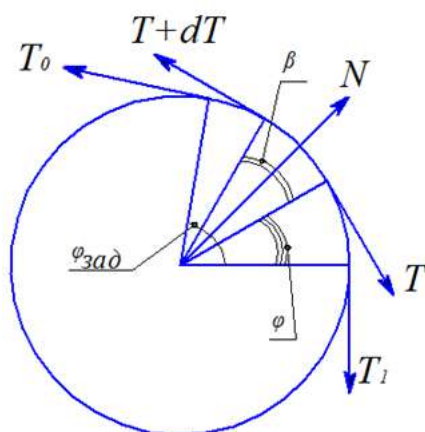


Рис. 1. Схема дії сил на полімерну плівку на приймально-охолоджуючому валку

Поточна сила натягу полімерної плівки на валку T розраховується за формулою Ейлера [2]:

$$T = T_1 e^{f\varphi}, \quad (1)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

де T_l – сила натягу полімерної плівки після приймально-охолоджуючого валка, яка не може бути більше напруги пружності відповідно до закону Гука ($T_l \leq T_{Гука}$); f – коефіцієнт тертя полімерної плівки о приймально-охолоджуючий валок; φ – поточний кут обхвату плівкою приймально-охолоджуючого валка; $\varphi_{зад}$ – заданий кут обхвату приймально-охолоджуючого валка полімерною плівкою.

Сила тертя полімерної плівки о приймально-охолоджуючий валок буде визначатися за формулою:

$$F_{mp} = N \cdot f, \tag{2}$$

де N – нормальна складова дії сил натягу полімерної плівки.

У свою чергу, нормальна складова розраховується за формулою (рис. 1):

$$N = (T + dT) \cdot \sin \frac{\beta}{2} + T \cdot \sin \frac{\beta}{2} = \sin \frac{\beta}{2} \cdot (2T + dT), \tag{3}$$

де β – поточний кут обхвату полімерною плівкою приймально-охолоджуючого валка.

Підставляючи формулу (3) в (2), отримуємо:

$$F_{mp} = f \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot (2T + dT). \tag{4}$$

Згідно з (4) епюра розподілу сил тертя полімерної плівки на валку матиме такий вигляд (рис. 2).

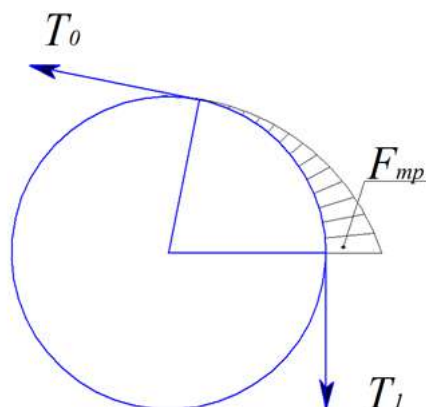


Рис. 2. Епюра розподілу сил тертя полімерної плівки на приймально-охолоджуючому валку

Підставляючи формулу (1) в (4) і нехтуючи малою величиною dT , отримаємо узагальнену формулу для визначення сили тертя полімерної плівки о приймально-охолоджуючий валок:

$$F_{mp} = f \cdot \sin \frac{\varphi_{зад} - \varphi}{2} \cdot (T_1 \cdot e^{f \cdot \varphi_{зад}} + T_l \cdot e^{f \cdot \varphi}). \tag{5}$$

Оскільки поперечна сила, яка стягує полімерну плівку, у два рази менше, ніж сила розтягування плівки [1–3], маємо:

$$F_{cm} = \frac{T - T_{Гука}}{2} \cdot \frac{b}{b_0}, \tag{6}$$

де b_0, b – початкова і поточна ширина полімерної плівки відповідно.

Підставляючи формулу (1) у формулу (6), отримаємо:

$$F_{cm} = \frac{T_1 \cdot e^{f \cdot \varphi} - T_{Гука}}{2} \cdot \frac{b}{b_0}. \tag{7}$$

У точці, де поточне значення натягу полімерної плівки $T < T_{Гука}$, поперечна стягуюча сила буде $F_{cm} = 0$.

На рис. 3 показана схема дії сил у довільній точці на краю полімерної плівки, яка розташована на приймально-охолоджуючому валку.

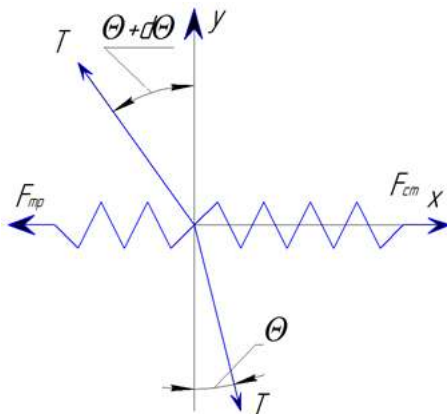


Рис. 3. Схема дії сил в довільній точці на краю плівки, яка розташована на приймально-охолоджуючому валку

Проекція всіх сил на вісь OX буде дорівнювати $\Sigma F_x = 0$. Тоді отримаємо:

$$F_{cm} + T \cdot \sin \theta = F_{mp} + T \cdot \sin(\theta + d\theta), \quad (8)$$

де θ – кут дії сили, що розтягує; $\theta + d\theta$ – кут дії сили, що розтягує в напрямку плоскощільної головки.

З рівняння (8) знаходимо додатковий кут:

$$d\theta = \arcsin \frac{F_{cm} + T \cdot \sin \theta - F_{mp}}{T} - \theta. \quad (9)$$

Підставляючи формули (5) і (6) у формулу (9), отримаємо диференціальне рівняння першого порядку:

$$d\theta = \arcsin \frac{\frac{T_1 \cdot e^{f \cdot \varphi} - T_{Гука}}{2} \cdot \frac{b}{b_0} + T_1 \cdot e^{f \cdot \varphi} \cdot \sin \theta - f \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot (T_1 \cdot e^{f \cdot \varphi_{зад}} + T_1 \cdot e^{f \cdot \varphi})}{T_1 \cdot e^{f \cdot \varphi}} - \theta, \quad (10)$$

де $\varphi_{зад}$ – заданий кут охоплення полімерною плівкою приймально-охолоджуючого валка; φ – поточний кут у радіанах; θ – кут нахилу краю полімерної плівки.

З огляду на те, що у формулу (10) входить поточний кут, визначимо його з початкових умов. Відомо, що при $F_{mp} > F_{cm}$ кут нахилу краю полімерної плівки дорівнює нулю $\theta = 0$.

Тоді розрахунок починаємо з точки A (рис. 4), в якій полімерна плівка виходить з приймально-охолоджуючого валка. Слід зазначити, що в точці A невідома кінцева ширина полімерної плівки b .

Тому кінцеву ширину плівки b будемо шукати з точністю менше 1 мм методом дихотомії [4], ставлячи собі максимальну і мінімальну ширину полімерної плівки після приймально-охолоджуючого валка. Ширина полімерної плівки повинна бути такою, щоб плівка, яка виходить з точки B під розрахованим початковим кутом $\theta_{нач}$, потрапила в кінець плоскощільної головки, у точку C (ширина плівки на виході з плоскощільної головки b_0). Цей метод в обчислювальній математиці називають методом «стрілянини» [4].

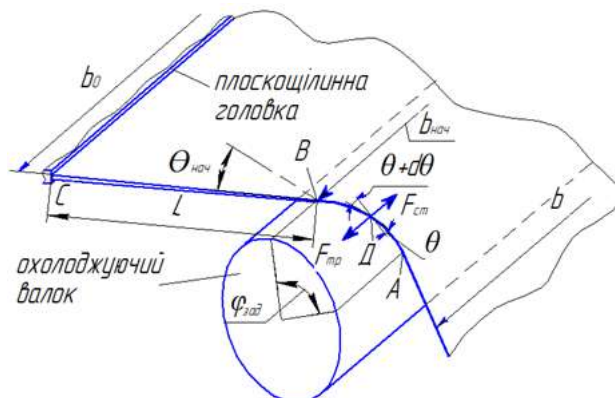


Рис. 4. Схема витягування полімерної плівки між плоскощілинною головкою і приймально-охолоджуючим валком

Вихідна ширина полімерної плівки розраховується за формулою:

$$b_0 = b_{нач} + 2 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \theta_{нач}, \tag{11}$$

де $b_{нач}$ – початкова ширина полімерної плівки при її торканні охолоджуючого валка; $\theta_{нач}$ – кут, який створює край полімерної плівки при торканні охолоджуючого валка в напрямку плоскощілинної головки.

Для знаходження кінцевої ширини полімерної плівки за рівняннями (10), (11) була розроблена блок-схема і програма, яка дозволяє розраховувати ширину полімерної плівки уздовж осі її витягування.

На підставі результатів, розрахованих за програмою, побудована залежність кінцевої ширини полімерної плівки на приймально-охолоджуючому валку залежно від відстані до плоскощілинної головки (рис. 5). З рис. 5 видно, що на ділянці між плоскощілинною головкою і приймально-охолоджуючим валком ширина полімерної плівки лінійно зменшується, а на валку ширина плівки зменшується по експоненті.

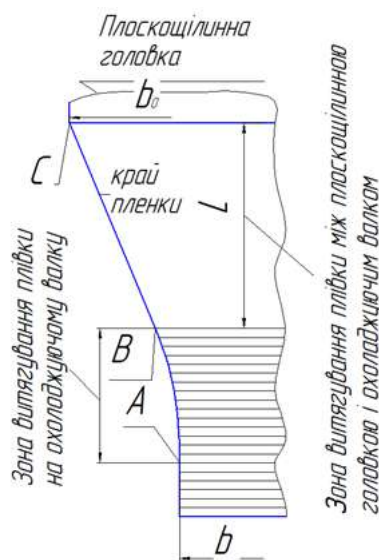


Рис. 5. Зміна розрахункової ширини полімерної плівки вздовж вісі витягування

Розрахунки показали, що ширина плівки значно залежить від коефіцієнта її тертя о приймально-охолоджуючий валок. Із рис. 6 видно, що ширина полімерної плівки лінійно зменшується зі збільшенням коефіцієнта її тертя о приймально-охолоджуючий валок і зростанням його діаметра.

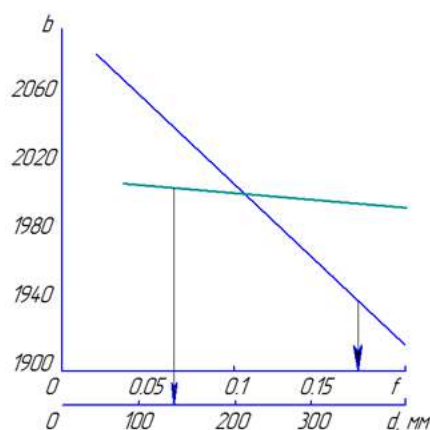


Рис. 6. Графік залежності ширини полімерної плівки від коефіцієнта її тертя (f) і діаметра охолоджуючого валка (d)

Висновки і пропозиції. Таким чином, запропонована математична модель може бути використана для визначення ширини полімерної плівки виробленої плоскощілинним методом залежно від геометричних параметрів установки (відстані L від головки до приймально-охолоджуючого валка і його діаметра d).

Список використаних джерел

1. *Чердніченко П. І.* Моделивання процесу руху полімеру у плоскощілинній головці / П. І. Чердніченко, В. Г. Бакалов, О. В. Бакалов // Математичні машини і системи. – 2009. – № 1. – С. 150–158.
2. *Чердніченко П. І.* Плоскощілинні головки для ламінування матеріалів. Конструкція, розрахунок, проектування / П. І. Чердніченко, В. Г. Бакалов, О. В. Бакалов. – Чернігов : ЧДТУ, 2009. – 141 с.
3. *Шаповал В. М.* Механика элонгационного течения полимеров / В. М. Шаповал. – М. : Физматлит, 2007. – 176 с.
4. *Турчак Л. И.* Основы численных методов / Л. И. Турчак. – М. : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 320 с.

References

1. Cherednichenko, P.I., Bakalov, V.H. & Bakalov, O.V. (2009). Modeliuvannia protsesu rukhu polimeru u ploskoshchilynnii holovtsi [Modeling of process of movement of the polymer in the flat die head]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, no. 1, pp. 150–158 (in Ukrainian).
2. Cherednichenko, P.I., Bakalov, V.H. & Bakalov, O.V. (2009). *Ploskoshchilynni holovky dlia laminuvannia materialiv. Konstruktsiia, rozrakhunok, projektuvannia* [Flat die heads for laminating materials. Construction, calculation, design]. Chernihiv: Chernihiv State Technological University (in Ukrainian).
3. Shapoval, V.M. (2007). *Mekhanika elongatsionnogo techeniia polimerov* [Mechanics elongational flow polymers]. Moscow: Fizmatlit (in Russian).
4. Turchak, L.I. (1987). *Osnovy chislennykh metodov* [Basics of numerical methods]. Moscow: Gl. red. fiz.-mat. lit. (in Russian).

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

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

Bakalov Valery – 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: bakalow@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8602-7778>

Researcher ID: J-1337-2016

Скрипник Софія Павлівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Скрипник Софья Павловна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Skrypnuk Sofia – PhD in Technical Sciences, Senior lecturer of the Motor Transport and Branch Engineer Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: fishkina@bk.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7401-3109>

Чередніченко Петро Іванович – доктор технічних наук, професор, Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України (вул. Стрілецька, 1, 14003, м. Чернігів, Україна).

Чередниченко Петр Иванович – доктор технических наук, профессор, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных Сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, 14003, г. Чернигов, Украина).

Cherednichenko Petr – Doctor of Technical Sciences, Professor, State Research and Test Center of the Armed Forces of Ukraine (1 Streletska Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: pitercher@ukr.net

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

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

Ihnatenkov Alexander – 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: ignatenkov48@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0770-3847>

УДК 678.023.5

*Олег Синюк***МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНИХ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ПОЛІМЕРІВ З ОРІЄНТОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ***Олег Сынюк***МЕТОД РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРОВ
С ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ***Oleh Synyuk***THE METHOD OF CALCULATING EFFECTIVE RESILIENT PROPERTIES
OF ORIENTED POLYMERS**

Отримано залежності, що дозволяють визначити ступінь витяжки, за якою починається руйнування сферолітної структури, що дало змогу розробити методику визначення ступеня граничної витяжки, при якій сферолітна структура перетворюється на фібрилярну. Ця методика може використовуватися під час проектування обладнання для переробки полімерних відходів.

Ключові слова: відходи, полімер, руйнування, сфероліт, витяжка, фібрила.

Рис.: 3. Бібл.: 17.

Получены зависимости, позволяющие определить степень вытяжки, при которой начинается разрушение сферолитной структуры, что позволило разработать методику определения степени предельной вытяжки, при которой сферолитная структура превращается в фибриллярную. Данная методика может использоваться при проектировании оборудования для переработки полимерных отходов.

Ключевые слова: отходы, полимер, разрушение, сферолит, вытяжка, фибрилла.

Рис.: 3. Библ.: 17.

Dependencies, obtained in the article, can determine the degree of drawing, by which begins the fracture of spherulite structure. That has allowed to develop a method for determining the degree of boundary drawing, in which spherulite structure turns into fibrous. This technique can be used in the design of equipment for plastic waste processing.

Key words: waste, polymer destruction, spherulite, drawing, fibril.

Fig.: 3. Bibl.: 17.

Постановка проблеми. Процес переходу з неорієнтованого стану кристалічних полімерів до орієнтованого є невід’ємною стадією переробки полімерних відходів. Зміну пружних властивостей полімерів у процесі витяжки можна пов’язати з кінцевою деформацією основних рівнів надмолекулярної структури. Аналітичне рішення цієї задачі слід знаходити методом послідовного врахування взаємодії різних рівнів надмолекулярної структури полімеру через встановлення функціональної залежності пружних властивостей матеріалу від параметрів надмолекулярної структури, технології виготовлення та узгодження їх конкретних значень з відносним екстремумом необхідних механічних параметрів орієнтованого полімеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті структурного аналізу, проведеного різними фізичними методами [1–3], встановлено, що в неорієнтованому стані полімерів сферолітної будови можна виділити два основні рівні надмолекулярної структури полімеру – сфероліти, що мають гетерогенну кристалічну структуру, і аморфну фазу, що має однорідну неупорядковану структуру. В роботі [4] запропоновано модель неорієнтованої структури полімеру сферолітної будови, що задовільно пов’язує показники їх пружних властивостей з параметрами структури.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Існуючі механічні моделі полімерів [5–8] не враховують особливості будови надмолекулярної структури полімерів, взаємозв’язок між аморфними і кристалічними компонентами, не дозволяють кількісно спостерігати за структурними змінами, що відбуваються у процесі деформації полімеру.

Множина різноманітних надмолекулярних утворень, що виникають залежно від умов отримання і переробки полімерів, не дозволяє в межах однієї моделі описати механічні властивості полімерів.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є створення структурної моделі орієнтованого стану полімерів, на основі якої розробити метод розрахунку ефективних пружних властивостей полімерів з орієнтованою структурою.

Виклад основного матеріалу. Приймаючи як вихідну модель (рис. 1) і врахувавши характеристики структурних елементів [4; 9) – сферолітів і аморфної фази, а також їх внутрішню будову [8; 10; 11], нехтуючи дисипативними явищами в цих елементах, у першому наближенні розіб'ємо весь процес витяжки полімеру на скінчену кількість станів з фіксованим ступенем деформації сферолітів. Раніше було встановлено [1], що до значень ступеня витяжки, що дорівнює природній, зберігається прямий генетичний зв'язок між вихідним сферолітним порядком і орієнтаційним. При цьому зі збільшенням ступеня витяжки збільшується ступень сплюсненості сферолітів, тобто сфероліти змінюють сферичну форму, стаючи витягнутими в напрямку орієнтації. Наведені вище факти є основою для гіпотези про існування кількісного зв'язку між параметрами витяжки сферолітів і пружними властивостями полімерів у кожному з указаних станів.

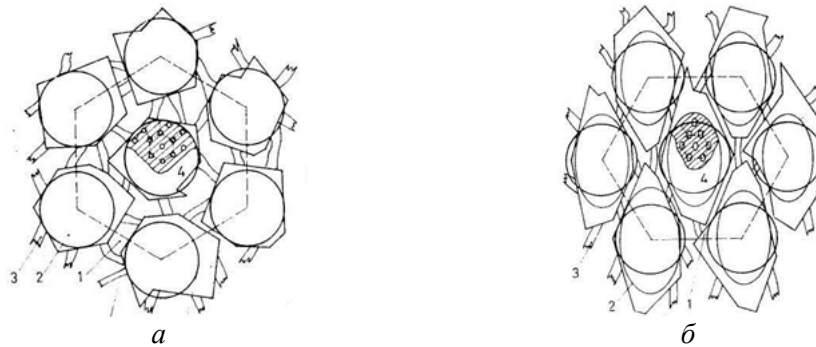


Рис. 1. Модель надмолекулярної сферолітної структури аморфно-кристалічних полімерів у неорієнтованому (а) і орієнтованому (б) стані: 1 – аморфна фаза; 2 – сфероліти (кристалічна фаза); 3 – прохідні мікрофібрили; 4 – модель внутрішньої будови сфероліта

Розглянемо модель неорієнтованого стану сферолітної структури [12], яка піддається одноосній орієнтації зі ступенем витяжки λ . На рис. 1 представлено модель перетворення вихідної неорієнтованої сферолітної структури в орієнтовану.

Враховавши той факт, що зміна форми сферолітів у результаті орієнтаційної витяжки відбувається однорідно [2] у напрямку осі x_1 і при незмінному об'ємі сферолітів [3; 13; 14] ($\rho_c = \text{const}$), будемо моделювати орієнтаційну витяжку як рівномірне стиснення (розтягнення) простору з коефіцієнтом η , чисельно рівним ступеню витяжки полімеру: $\eta = \lambda$. При цьому фактично відбувається рівномірне стиснення (розтягнення) сфероліта в напрямку від площини $x_2 \cdot x_3$, прийнятої за основну (рис. 2). Формули перетворення координат з урахуванням незмінності об'єму сфероліта матимуть вигляд $x_1^* = \lambda x_1$, $x_2^* = x_3^* = \lambda^{-1/2} x_2$. При цьому можуть мати місце два випадки:

- при $\lambda > 1$ має місце одноосьове розтягнення простору (отримання волокон і плівок методом витяжки);
- при $\lambda < 1$ – одноосьовий стиск простору (отримання листів і плівок методом прокатки або каландруванням).

Рівняння сфероліту радіусом r ($x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = r^2$), що піддається рівномірному розтягненню з коефіцієнтом витяжки λ , в результаті підстановки формул перетворення координат і приведення його до канонічного вигляду має такий вигляд:

$$\frac{(x_1^*)^2}{\lambda^2 r^2} + \lambda \frac{(x_2^*)^2 + (x_3^*)^2}{r^2} = 1. \tag{1}$$

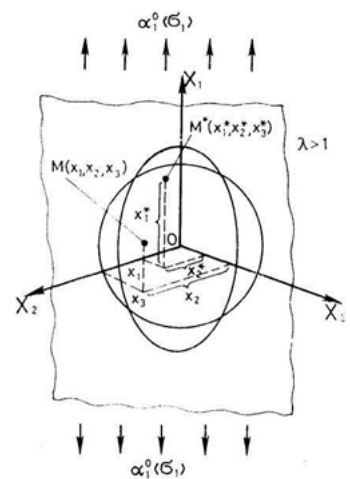


Рис. 2. Модель витяжки полімеру сферолітної будови

Вираз (1) являє собою рівняння еліпсоїда обертання (сфероїда). Слід мати на увазі, якщо $\lambda > 1$, то сфероліт має форму витягнутого в напрямку осі x_1 еліпсоїда обертання, а якщо $\lambda < 1$, він стиснутий у цьому ж напрямку. Таким чином, при одноосній орієнтації відбувається перетворення форми сферолітів зі сферичної в еліпсоїдальну, що задовільно узгоджується з результатами електронно-мікроскопічних [2] і дифрактометричних [1; 13] досліджень.

Зміна форми сферолітів, як буде показано нижче, у процесі витяжки сприяє виникненню загальної анізотропії аморфно-кристалічного середовища при ізотропності елементів надмолекулярної структури (сферолітів і аморфної фази).

Ефективні пружні постійні орієнтованого аморфно-кристалічного полімеру будемо визначати, виходячи з позицій мікроеханіки композитних матеріалів [15] із залученням як декартової, так і криволінійної систем вироджених еліпсоїдальних координат v, ϑ, φ , взаємозв'язок між якими (рис. 2) визначається такими виразами:

$$\begin{aligned} x_1 &= r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} \operatorname{ch} u \cos \vartheta, \\ x_2 + ix_3 &= r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} \operatorname{sh} u \sin \vartheta e^{i\varphi}. \end{aligned} \quad (2)$$

Коефіцієнти Ламе системи (2) виражені такими рівняннями:

$$\begin{aligned} H_u^2 &= H_\vartheta^2 = r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1})(\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta), \\ H_\varphi^2 &= r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1}) \cdot \operatorname{sh}^2 u \cdot \sin^2 \vartheta. \end{aligned} \quad (3)$$

Першу квадратичну форму елемента довжини дуги ds знаходимо з такого виразу:

$$ds^2 = r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1}) \left[(\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)(du^2 + d\vartheta^2) + \operatorname{sh}^2 u \sin^2 \vartheta d\varphi^2 \right] \quad (4)$$

Одиничні вектори криволінійної $\mathbf{e}_u, \mathbf{e}_\vartheta, \mathbf{e}_\varphi$ і декартової $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ систем координат пов'язані такими співвідношеннями

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_u &= a_{11} \cdot \mathbf{e}_1 + a_{12} \cdot \mathbf{e}_2 + a_{13} \cdot \mathbf{e}_3, \\ \mathbf{e}_\vartheta &= a_{21} \cdot \mathbf{e}_1 + a_{22} \cdot \mathbf{e}_2 + a_{23} \cdot \mathbf{e}_3, \\ \mathbf{e}_\varphi &= a_{31} \cdot \mathbf{e}_1 + a_{32} \cdot \mathbf{e}_2 + a_{33} \cdot \mathbf{e}_3, \end{aligned} \quad (5)$$

де

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{\operatorname{sh} u \cos \vartheta}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; & a_{21} &= -\frac{\operatorname{ch} u \sin \vartheta}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; \\ a_{12} &= \frac{\operatorname{ch} u \sin \vartheta \cos \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; & a_{22} &= \frac{\operatorname{sh} u \cos \vartheta \cos \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; \\ a_{13} &= \frac{\operatorname{ch} u \sin \vartheta \sin \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; & a_{23} &= \frac{\operatorname{sh} u \cos \vartheta \sin \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; \\ a_{31} &= 0; & a_{32} &= -\sin \varphi; & a_{33} &= \cos \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Зворотне перетворення здійснюється за такими рівняннями:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_1 &= a_{11} \cdot \mathbf{e}_u + a_{21} \cdot \mathbf{e}_\vartheta + a_{31} \cdot \mathbf{e}_\varphi, \\ \mathbf{e}_2 &= a_{12} \cdot \mathbf{e}_u + a_{22} \cdot \mathbf{e}_\vartheta + a_{32} \cdot \mathbf{e}_\varphi, \\ \mathbf{e}_3 &= a_{13} \cdot \mathbf{e}_u + a_{23} \cdot \mathbf{e}_\vartheta + a_{33} \cdot \mathbf{e}_\varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Для визначення ефективних пружних постійних загальний напружений стан представимо як суперпозицію елементарних напружених станів – поздовжнього і двомірного поперечного розтягування, поздовжнього розтягування і повздовжнього зсуву. Детальний розгляд деформації сферолітної структури дозволяє виявити два типи деформації надмолекулярної структури при витягці: однорідної і неоднорідної [13; 14]. Однорідний характер деформації сферолітної структури відповідає сфероліту, всі частини якого розтягуються одночасно і пропорційно. Виходячи з цього робимо висновок, що при дії од-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

норідних на безкінечності напруженнях в аморфно-кристалічному середовищі напруження у сфероліті є однорідними й однотипними, тобто нормальні і дотичні напруження у сфероліті на головних площадках не змішуються між собою. Для міжсферолітного (аморфного) простору характерна наявність як однорідної, так і неоднорідної деформації, що свідчить про розсіяння механічної енергії витягування в основному в міжсферолітному просторі. Таким чином, в наближенні лінійної теорії можна прийняти, що між елементами надмолекулярної структури діють невідомі напруження однорідної взаємодії α_1^0 .

Для визначення напруження однорідної взаємодії α_1^0 скористаємося теоремою про еквівалентні стани [15], виражаючи потенціальну енергію пружної деформації U через поверхневий інтеграл

$$U = \frac{1}{2V} \sum_{k=1} \int_{V_k} \sigma_{ik} \varepsilon_{ik} dV = \frac{1}{2V} \int_{S_*} \sigma_{in} u_i dS, \quad (8)$$

де S_* – наведена поверхня.

Перше представлення пружної енергії через середні напруження $\hat{\sigma}_{ij}$ і деформації $\hat{\varepsilon}_{ij}$ у разі поздовжнього розтягування має такий вигляд:

$$U = \frac{1}{2} \hat{\sigma}_1 \hat{\varepsilon}_1. \quad (9)$$

Виражаючи елементарну площадку (4) як

$$ds = H_\vartheta d\vartheta H_\varphi d\varphi = r^2 (\lambda^2 - \lambda^{-1}) (\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)^{0.5} \text{sh} u \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$$

і прирівнюючи в першому наближенні наведену поверхню інтегрування S_* в (9) до поверхні витягнутого еліпсоїда обертання, сфокусованого зі сферолітом, отримаємо вираз для потенціальної енергії:

$$U = \frac{1}{2V_*} \int_{S_*} \sigma_{in} u_i r^2 (\lambda^2 - \lambda^{-1}) (\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)^{0.5} \text{sh} u \sin \vartheta d\vartheta d\varphi, \quad (10)$$

де $V_* = \frac{4}{3} \pi r^3 (\lambda^2 - \lambda^{-1})^{3/2} \text{ch} u \text{sh}^2 u$ – об'єм еліпсоїда, обмеженого наведеною поверхнею S_* .

Враховуючи, що $\sigma_{in} u_i = \sigma_u^a u_u^a + \sigma_{u\vartheta}^a u_{\vartheta}^a$, і використовуючи першу виставу пружної енергії, отримаємо:

$$\hat{\sigma}_1 \hat{\varepsilon}_1 = \frac{1}{V_*} \iint_{(S_*)} (\sigma_u^a u_u^a + \sigma_{u\vartheta}^a u_{\vartheta}^a) r^2 (\lambda^2 - \lambda^{-1}) (\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)^{0.5} \text{sh} u \sin \vartheta d\vartheta d\varphi. \quad (11)$$

Підставляючи в рівняння (11) значення однорідних переміщень u_u^0 і u_{ϑ}^0 , значення напружень σ_u^a , $\sigma_{u\vartheta}^a$ з [12], інтегруючи (11) по φ від 0 до 2π і по ϑ від 0 до π та використовуючи вирази для постійних:

$$A = \alpha_1^0 \left(\frac{2[E_c(1+v_a) - E_a(1+v_c)]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\} - [E_a(1+v_c)\gamma_3 - E_c(1+v_a)\gamma_2]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\}}{[E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3][E_c(1-v_a) - E_a(1-v_c)]} + \frac{[E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3]\{E_c(1+v_a)\gamma_1 - E_a[(1-v_c)\gamma_4 + (1-3v_c)(\gamma_4 - \gamma_3)]\}}{[E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\}} \right), \quad (12)$$

$$F = \alpha_1^0 \left(\frac{2[E_c(1+v_a)\gamma_2 - E_a(1+v_c)\gamma_3][E_c(1-v_a) - E_a(1-v_c)] - [E_c(1+v_a) - E_a(1+v_c)] \cdot \{E_c(1+v_a)\gamma_1 - E_a[(1-v_c)\gamma_4 + (1-3v_c)(\gamma_4 - \gamma_3)]\}}{[E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3]\{E_c(1+v_a)\gamma_1 - E_a[(1-v_c)\gamma_4 + (1-3v_c)(\gamma_4 - \gamma_3)]\} - E_a[(1-v_c)\gamma_4 + (1-3v_c)(\gamma_4 - \gamma_3)]} - \frac{[E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\}}{[E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\}} \right),$$

де

$$\begin{aligned}\gamma_1 &= \frac{Q_1(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{ch} u_0} - \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{2 \operatorname{sh} u_0}, & \gamma_2 &= \frac{Q_1(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{ch} u_0} + \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{2 \operatorname{sh} u_0}, \\ \gamma_3 &= \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{sh} u_0} - \frac{1}{2 \operatorname{ch} u_0} \frac{dQ_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{du_0}, & \gamma_4 &= \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{sh} u_0}; \\ \beta_1 &= (3 - 4\nu_a) \frac{Q_1(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{ch} u_0} - \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{sh} u_0} + \frac{\operatorname{ch} u_0}{2 \operatorname{sh} u_0} \frac{dQ_2(\operatorname{ch} u_0)}{du_0}, \\ \beta_2 &= (3 - 4\nu_a) \frac{Q_1(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{ch} u_0} - \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{sh} u_0} + \frac{3 \operatorname{ch} u_0}{2 \operatorname{sh} u_0} \frac{dQ_2(\operatorname{ch} u_0)}{du_0}, \\ \beta_3 &= -(1 - 2\nu_a) \left(\frac{Q_1(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{ch} u_0} + \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{sh} u_0} \right) + 3 \frac{\operatorname{ch} u_0}{\operatorname{sh} u_0} \frac{dQ_2(\operatorname{ch} u_0)}{du_0}, \\ \beta_4 &= 2(1 - 2\nu_a) \left(\frac{Q_1(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{ch} u_0} + \frac{Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u_0)}{\operatorname{sh} u_0} \right) + 3 \frac{\operatorname{ch} u_0}{\operatorname{sh} u_0} \frac{dQ_2(\operatorname{ch} u_0)}{du_0},\end{aligned}$$

отримаємо значення напруження однорідної взаємодії α_1^0 залежно від діючого середнього напруження $\hat{\sigma}_1$ і ступеня витяжки λ :

$$\alpha_1^0 = \frac{\hat{\sigma}_1}{1 + (1 - 2\nu_a)\chi^2 A_* + (1 + \nu_a)\chi^2 F_*}, \quad (13)$$

де χ – ступінь кристалічності [1; 15]; A_* , F_* – постійні, що мають структуру, яка відповідає виразам (12), і в яких функції $\gamma_1^* \dots \gamma_4^*$, $\beta_1^* \dots \beta_4^*$, що визначають форму сферолітів, виражені через ступінь витяжки λ :

$$\begin{aligned}\gamma_1^* &= \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + (4 - 2\lambda^3)\sqrt{\lambda^3 - 1}}{2(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\lambda^3 \sqrt{\lambda^3 - 1})}, & \gamma_2^* &= \frac{3\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + (4 + 2\lambda^3)\sqrt{\lambda^3 - 1}}{2(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\lambda^3 \sqrt{\lambda^3 - 1})}, \\ \gamma_3^* &= \frac{(1 - \lambda^3)\sqrt{\lambda^3 - 1}}{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\lambda^3 \sqrt{\lambda^3 - 1}}, & \gamma_4^* &= 1; \\ \beta_1^* &= (1 - 2\nu_a) \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1}}{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\lambda^3 \sqrt{\lambda^3 - 1}} + \frac{(2\lambda^3 + 1)\ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda^4 - \lambda}}{4(\lambda^3 - 1)} + \gamma_1^*, \\ \beta_2^* &= 2(1 - 2\nu_a) \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1}}{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\lambda^3 \sqrt{\lambda^3 - 1}} + 3 \frac{(2\lambda^3 + 1)\ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda^4 - \lambda}}{4(\lambda^3 - 1)} + \gamma_2^*, \\ \beta_3^* &= -4(1 - 2\nu_a) + 3 \frac{(2\lambda^3 + 1)\ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda^4 - \lambda}}{2(\lambda^3 - 1)}, \\ \beta_4^* &= 2(1 - 2\nu_a) - 3 \frac{(2\lambda^3 + 1)\ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda^4 - \lambda} + 2(\lambda^3 - 1)}{2(\lambda^3 - 1)}, \\ \ln a &= \ln \frac{\lambda\sqrt{\lambda} - \sqrt{\lambda^3 - 1}}{\lambda\sqrt{\lambda} + \sqrt{\lambda^3 - 1}}.\end{aligned} \quad (14)$$

Згідно з [15] запишемо друге представлення енергії в такому вигляді:

$$\frac{\hat{\sigma}_1^2}{2E_1} = \frac{r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1})}{2V_*} \iint_{(S_*)} (\sigma_u^o u_u^a + \sigma_\vartheta^o u_\vartheta^a) (\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)^{0.5} \operatorname{sh} u \sin \vartheta d\vartheta d\varphi. \quad (15)$$

Підставляючи в (15) значення однорідних напружень σ_u^0 і $\sigma_{u_9}^0$, значення переміщень u_u^a і u_9^a з [12] і розв'язуючи вираз (9) відносно E_1 , визначимо модуль пружності орієнтованого аморфно-кристалічного середовища сферолітної будови в напрямку x_1 :

$$E_1 = E_a \frac{1 + (1 - 2\nu_a)\chi^2 A_* + (1 + \nu_a)\chi^2 F_*}{1 - (1 + \nu_a)\chi^2 A_{**} - (1 + \nu_a)\chi^2 F_{**}}, \quad (16)$$

де A_{**} , F_{**} – постійні, що мають структуру, яка відповідає виразам (12), де функції $\gamma_1^{**} \dots \gamma_4^{**}$, $\beta_1^{**} \dots \beta_4^{**}$, що визначають форму сферолітів, виражені через ступень витяжки λ таким чином:

$$\gamma_1^{**} = \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + (4 - 2\lambda^3)\sqrt{\lambda^3 - 1}}{2(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1})}, \quad \gamma_2^{**} = \frac{3\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + (4 + 2\lambda^3)\sqrt{\lambda^3 - 1}}{2(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1})},$$

$$\gamma_3^{**} = \frac{(2 - 2\lambda^3)\sqrt{\lambda^3 - 1}}{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1}}, \quad \gamma_4^{**} = \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\lambda^3\sqrt{\lambda^3 - 1}}{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1}},$$

$$\beta_1^{**} = 2 - 4\nu_a + \frac{1}{2} \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \left[(1 + 2\lambda^3) \ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda(\lambda^3 - 1)} \right]}{(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1})(\lambda^3 - 1)} + \gamma_1^{**},$$

$$\beta_2^{**} = 2 - 4\nu_a + \frac{3}{2} \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \left[(1 + 2\lambda^3) \ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda(\lambda^3 - 1)} \right]}{(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1})(\lambda^3 - 1)} + \gamma_2^{**},$$

$$\beta_3^{**} = 4\nu_a - 2 + 3 \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \left[(1 + 2\lambda^3) \ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda(\lambda^3 - 1)} \right]}{(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1})(\lambda^3 - 1)},$$

$$\beta_4^{**} = (2 - 4\nu_a) \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1}}{2(1 - \lambda^3)\sqrt{\lambda^3 - 1}} - \frac{3}{2} \frac{\lambda\sqrt{\lambda} \left[(1 + 2\lambda^3) \ln a + 6\lambda\sqrt{\lambda(\lambda^3 - 1)} \right]}{(\lambda\sqrt{\lambda} \ln a + 2\sqrt{\lambda^3 - 1})(\lambda^3 - 1)}.$$

Вираз (16) дозволяє прогнозувати пружні властивості орієнтованих аморфно-кристалічних полімерів сферолітної будови в напрямку осі витяжки і вимагає в першому наближенні знання пружних властивостей аморфної фази E_a , ν_a , сферолітів E_c , ν_c і конструкційних та технологічних параметрів технологічного процесу переробки, що сприяє зміні вихідної ізотропної неорієнтованої структури і формуванню орієнтованої аморфно-кристалічного середовища. Приклавши до отриманої орієнтованої структури полімеру поперечний розтяг або повздовжній зсув, можна розщепити матеріал на волокна.

Пружні константи різних полімерів в аморфному стані E_a , ν_a можуть бути виміряні безпосередньо або взяті з довідникової літератури [16]. Що стосується пружних констант кристалічної фази E_c , ν_c , то використання модуля пружності кристалічної решітки $E_{кр}$, як це зроблено в [8; 10; 11], на нашу думку, не є коректним. Складну будову сферолітів, що є згідно з [13; 14] третім після кристалітів і ламелей рівнем надмолекулярної структури, в якому і кристаліти, і ламелі, маючи різну орієнтацію в просторі, з'єднані між собою міжкристалічними аморфними прошарками, не дозволяє розглядати їх як єдині кристалічні морфози. У роботах [2, 8, 10, 11] встановлено, що сфероліти навіть при високих кінцевих деформаціях деформуються з полімером як єдине ціле, витягаючись в напрямку витяжки та лише незначно відстаючи від деформації полімеру [4].

Як пружні константи орієнтованих сферолітів E_c, ν_c пропонується використовувати значення пружних постійних, визначених на підставі рівняння (16) для модуля пружності і з [12] для коефіцієнта Пуассона, при ступені кристалічності $\chi_c = \chi_{\max}$, що є максимально можливим для цього полімеру. Іншими словами, моделюється ідеальна будова сфероліта як аморфно-кристалічного середовища, в якому кристаліти і (або) ламелі є еліпсоїдальними включеннями в аморфній матриці (рис. 1, а), що ідеально адгезійно пов'язані між собою. Модуль пружності таких моделей сферолітів дорівнює модулю пружності кристалічної решітки ($E_c^* = E_p$). Отримані таким чином значення пружних констант можна використовувати в подальших обчисленнях як пружні константи сферолітів E_c, ν_c при прогнозуванні пружних властивостей.

З метою визначення ступеня витяжки, за якої починається перетворення вихідної орієнтованої сферолітної структури полімеру у фібрилярну, яку легше розщепити на волокна.

На рис. 3 представлені залежності, що дозволяють визначити ступінь витяжки λ , за якої починається руйнування сферолітної структури поліетилентерефталату (ПЕТФ), поліаміду (ПІ) і поліетилену (ПЕ).

Вихідні дані для отримання кривих 2, 4, 6:

ПЕТФ – $E_c = 8239 \text{ МПа}$, $\nu_c = 0,32$; $E_a = 2000 \text{ МПа}$, $\nu_a = 0,39$; $\chi = 0,40$.

ПІ – $E_c = 5500 \text{ МПа}$, $\nu_c = 0,35$; $E_a = 3400 \text{ МПа}$, $\nu_a = 0,39$; $\chi = 0,10$.

ПЕ – $E_c = 1020 \text{ МПа}$, $\nu_c = 0,37$; $E_a = 77 \text{ МПа}$, $\nu_a = 0,39$; $\chi = 0,68$.

Криві 1, 3, 5 відповідають експериментальним даним, отриманим у [17] (●). На рис. 3 також відображено результати, отримані з інших джерел для ПЕТФ [5; 11] і для ПЕ [5; 11] (○).

Аналіз даних рис. 3 показує задовільний збіг прогнозованих і вимірених значень модуля пружності E_1 , найбільший розкид значень не перевищує 14 % для ПЕТФ, 16 % – для ПІ і 18 % – для ПЕ. Слід зазначити, що при отриманні орієнтованих аморфно-кристалічних полімерів як технологічні значення ступеня витяжки λ вибираються значення, що відповідають прямолінійним ділянкам залежностей.

Для цих ділянок розкид значень між прогнозованими і вимірюваними значеннями набагато менший і становить не більше 8 % для ПЕТФ, не більше 10 % для ПЕ, і практично повний збіг для ПІ. Збільшення розкиду між прогнозованими і експериментальними значеннями при великих ступенях витяжки пояснюється, мабуть, початком руйнування вихідної орієнтованої сферолітної структури і перетворенням її у фібрилярну.

Висновки і пропозиції. Залежності, представлені на рис. 3, дозволяють визначити ступінь витяжки, що відповідає природній, за якої починається руйнування сферолітної структури. На прикладі кривої 2 (точка В) показана методика визначення ступеня природної витяжки λ_p , яка може служити орієнтиром під час проектування обладнання, призначеного для розщеплення полімерних відходів.

Розглядаючи граничний перехід у рівнянні (16) при $\lambda = 1$, можна показати, що рівняння (16) набуває вигляду, що відповідає моделі неорієнтованого стану аморфно-кристалічного ізотропного середовища і задовільно описує експериментальні дані.

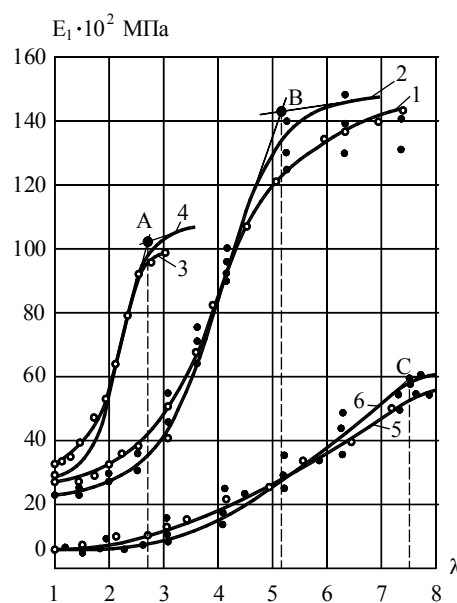


Рис. 3. Залежності модуля пружності ПЕТФ (1, 2), ПІ (3, 4) і ПЕ (5, 6) від ступеня витяжки

На завершені автор вважає своїм обов'язком висловити подяку В. В. Кострицькому за постійну увагу та цінні зауваження, висловлені у процесі виконання цієї роботи.

Список використаних джерел

1. Баранов В. Г. Наблюдение прямой генетической связи между сферолитным и ориентационным надмолекулярным порядком / В. Г. Баранов, К. А. Гаспарян, С. Я. Френкель // Докл. АН СССР. – 1968. – Т. 183, № 1. – С. 137–140.
2. Электронно-микроскопическое изучение процесса ориентирования поликапроамида / С. Н. Журков, В. А. Марихин, Л. П. Мясникова, А.И. Слуцкер // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 1965. – Т. 7, № 6. – С. 1041–1044.
3. Каргин В. А. Изучение процессов растяжения и сокращения пленок полиэтилена со сферолитными структурами / В. А. Каргин, В. И. Селихова, П. С. Маркова // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 1965. – Т. 7, № 9. – С. 1495–1499.
4. Синюк О. М. Модель будови недеформованих полімерів сферолітної структури / О. М. Синюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 3 (237). – С. 181–188.
5. Уорд И. М. Механические свойства твердых полимеров / И. М. Уорд. – М. : Химия, 1975. – 350 с.
6. Takayanagi M. Mechanical properties and fine structure of draw polymers / M. Takayanagi, K. Imada, T. Kajiyama // J. Polymer Sci. – 1966. – Part C. – № 15. – Pp. 263–281.
7. Odajima A. Calculation of the elastic constant and the lattice energy of the polyethylene crystal / A. Odajima, T. Maeda // J. Polymer Sci. – 1966. – Part C. – № 15. – Pp. 55–74.
8. Перепелкин К. Е. Структура и структурная механика полимерных волокон: современные представления / К. Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2009. – № 1. – С. 11–20.
9. Синюк О. М. Визначення пружних властивостей аморфно-кристалічних полімерів сферолітної структури / О. М. Синюк // Вісник Вінницького національного технічного університету. – 2016. – № 6. – С. 8.
10. Привалко В. П. Молекулярное строение и свойства полимеров / В. П. Привалко. – Л. : Химия, 1986. – 240 с.
11. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен. – М. : Химия, 1978. – 312 с.
12. Синюк О. М. Моделювання зміни надмолекулярної структури полімерних матеріалів при орієнтаційній витяжці / О. М. Синюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 6. – С. 6.
13. Марихин В. А. Надмолекулярная структура полимеров / В. А. Марихин, Л. П. Мясникова. – Л. : Химия, 1977. – 240 с.
14. Особенности ориентационного надмолекулярного порядка, образующегося при растяжении сферолитных пленок полиэтилена высокого давления / В. Г. Баранов, К. А. Гаспарян, Р. С. Зурабян, Э. С. Эдилян, С. Я. Френкель // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 1969. – Т. 11, № 6. – С. 1247–1256.
15. Ванин Г. А. Микромеханика композиционных материалов / Г. А. Ванин. – К. : Наук. думка, 1985. – 304 с.
16. Samuels R. J. Structured polymer properties / R. J. Samuels // Wiley InterScience. – New York, 1974. – 280 p.
17. Кострицкий В. В. Влияние процесса двухосной ориентации на структуру полиэтиленерефталатных пленок / В. В. Кострицкий // Прикладная механика. – 1984. – Т. 20, № 2. – С. 75–80.

References

1. Baranov, V.G., Gasparyan, K.A., Frenkel, S.Ia. (1968). Nabludenie priamoi geneticheskoi svyazi mezhdru sferolitnym i orientatsionnym nadmolekuliarnym poriadkom [Observation of a direct genetic link between spherulitic supramolecular order and orientation]. *Dokl. AN SSSR – Report of the USSR Academy of Sciences*, vol. 183 no. 1, pp. 137–140 (in Russian).
2. Zhurkov, S.N., Marikhin, V.A., Myasnikova, L.P., Slutsker, A.I. (1965). Elektronno-mikroskopicheskoe izuchenie protsessa orientirovaniia polikaproamida [Electron microscopic research the process of orientation polikaproamida]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. A. – High-molecular compounds, Ser. A.*, vol. 7, no. 6, pp. 1041–1044 (in Russian).

3. Kargin, V.A., Selikhova, V.I., Markova, P.S. (1965). Izuchenie protsessov rastyazheniya i sokrashcheniya plenok polietilena so sferolitnymi strukturami [The research of processes stretching and reduce pellicle of polyethylene what has spherulites structure]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. A – High-molecular compounds, Part A*, vol. 7, no. 9, pp. 1495–1499 (in Russian).
4. Synyuk, O.M. (2016). Model budovy nedeforovanykh polimeriv sferolitnoi struktury [Model structure undeformed polymer spherulitic structure]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Visnyk of Khmelnytsky National University. Series “Technical sciences”*, no. 3 (237), pp. 181–188 (in Ukrainian).
5. Uord, I.M. (1975). *Mekhanicheskie svoystva tverdykh polimerov [Mechanical properties of solid polymers]*. Moscow: Khimiia (in Russian).
6. Takayanagi, M., Imada, K., Kajiyama, T. (1966). Mechanical properties and fine structure of draw polymers. *J. Polymer Sci, Part C*, no. 15, pp. 263–281.
7. Odajima, A., Maeda, T. (1966). Calculation of the elastic constant and the lattice energy of the polyethylene crystal. *J. Polymer Sci, Part C*, № 15, pp. 55–74.
8. Perepelkin, K.E. (2009). Struktura i strukturnaya mekhanika polimernykh volokon: sovremennye predstavleniya [Structure and structural mechanics of polymer fibers: modern representations]. *Khimicheskie volokna – Chemical fibers*, no. 1, pp. 11–20 (in Russian).
9. Synyuk, O.M. (2016). Vyznachennia pruzhnykh vlastyvoستي amorfno-krystalichnykh polimeriv sferolitnoi struktury [Determination of the elastic properties of amorphous-crystalline polymer of spherulites structure]. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – Visnyk of Vinnitsa National Technical University. Series “Technical sciences”*, no. 6, p. 8 (in Ukrainian).
10. Privalko, V.P. (1986). *Molekulyarnoe stroenie i svoystva polimerov [The molecular structure and properties of polymers]*. Leningrad: Khimiia (in Russian).
11. Nilsen, L. (1978). *Mekhanicheskie svoystva polimerov i polimernykh kompozitsiy [The mechanical properties of polymers and polymer compositions]*. Moscow: Khimiia (in Russian).
12. Synyuk, O.M. (2016). Modeliuvannia zminy nadmolekuliarnoi struktury polimernykh materialiv pry oriientsatsiinii vytyazhtsi [Modeling changes supramolecular structure of polymer materials during orientation drawing]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Visnyk of Khmelnytsky National University. Series “Technical sciences”*, no. 6, p. 6 (in Ukrainian).
13. Marikhin, V.A., Myasnikova, L.P. (1977). Nadmolekulyarnaya struktura polimerov [Supramolecular structure of polymers]. Leningrad: Khimiia (in Russian).
14. Baranov, V.G., Gasparyan, K.A., Zurabyan, R.S., Edilyan, E.S., Frenkel, S.Ia. (1969). Osobennosti orientatsionnogo nadmolekulyarnogo poryadka, obrazuyushchegosya pri rastyazhenii sferolitnykh plenok polietilena vysokogo davleniya [The particular qualities supramolecular orientational order, resulting in tension spherulitic high-pressure polyethylene pellicles]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. A – High-molecular compounds, Part A*, vol. 11, no. 6, pp. 1247–1256 (in Russian).
15. Vanin, G.A. (1985). *Mikromekhanika kompozitsionnykh materialov [Micromechanics of composite materials]*. Kiev: Naukova dumka (in Russian).
16. Samuels, R.J. Structured polymer properties. *Wiley InterScience*. – New York, 1974.
17. Kostritskiy, V.V. (1984). Vliianie protsessa dvukhosnoi orientatsii na strukturu polietilentereftalatnykh plenok [Influence of the process of biaxial orientation on the structure of polyethylene terephthalate pellicles]. *Prikladnaya mekhanika – Engineering, mechanics*, vol. 20, no. 2, pp. 75–80 (in Russian).

Синюк Олег Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри машин та апаратів, Хмельницький національний університет (вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна).

Сынюк Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и аппаратов, Хмельницкий национальный университет (ул. Институтская, 11, г. Хмельницкий, 29016, Украина).

Synyuk Oleh – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of machines and apparatus, Khmelnytsky National University (11 Instyutyska Str., 29016 Khmelnytsky, Ukraine).

E-mail: synoleg@ukr.net

Researcher ID: S-5734-2016

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923

Віталій Кальченко, Володимир Венжега, Олена Следнікова, Дмитро Кальченко

ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ, ЗНОСУ КРУГІВ, ТОЧНОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ТА ТЕПЛОАПРУЖЕНОСТІ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ДЕТАЛЕЙ

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Venzhega, Elena Sliednikova, Dmytro Kalchenko

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СНЯТИЯ ПРИПУСКА, ИЗНОСА КРУГОВ, ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ТЕПЛОАПРЯЖЕННОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТОРЦОВ ДЕТАЛЕЙ

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Venzhega, Olena Sliednikova, Dmytro Kalchenko

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS PROCESS STOCK REMOVAL, WHEELS WEAR, FORMING ACCURACY AND THERMAL VOLTAGE AT GRINDING OF ENDS PART

Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей забезпечить підвищення ефективності обробки. При теоретичних розрахунках відомих формул потрібно враховувати зміну температури деталі, знос шліфувальних кругів та податливість системи за координатою обробки. Для забезпечення високої продуктивності шліфування проведено планування повних факторних експериментів при обробці торців деталей на двосторонньому торцешиліфувальному та заточному верстатах за трьома факторами, перевірена значущість коефіцієнтів регресії.

Ключові слова: шліфування, торці деталей, орієнтовані шліфувальні круги, правка калібруючих ділянок.

Рис.: 13. Бібл.: 11.

Теоретическое и экспериментальное исследование процессов снятия припуска, износа кругов, точности формообразования и теплонапряженности при шлифовании торцов деталей обеспечит повышение эффективности обработки. При теоретических расчетах известных формул нужно учитывать изменение температуры детали, износа шлифовальных кругов и податливости системы по координате обработки. Для обеспечения высокой производительности шлифования проведено планирование полных факторных экспериментов при обработке торцов деталей на двустороннем торцешлифовальном и заточном станках по трем факторам, проверенна значимость коэффициентов регрессии.

Ключевые слова: шлифование, торцы деталей, ориентированные шлифовальные круги, правка калибрующих участков.

Рис.: 13. Библ.: 11.

Theoretical and experimental research of stock removal, wear wheels, precision shaping and thermal stress at the ends of the grinding parts will improve the efficiency of processing. In theoretical calculations known formulas need to consider the details of the change of temperature, wear and tear of grinding wheels and the compliance to the coordinate processing system. To ensure high performance grinding carried out the planning of full factorial experiments in the processing of parts at the bilateral ends face grinding and Sharpening on three factors, proven importance of the regression coefficients.

Key words: grinding, parts ends oriented grinding wheels, dressing calibrating sections.

Fig.: 13. Bibl.: 11.

Постановка проблеми. На сучасних інструментальних, машинобудівних, верстатобудівних, автомобілебудівних та інших заводах широко використовуються деталі з високоточними торцевими поверхнями, остаточною точністю яких забезпечується фінішними операціями. В умовах подальшого розвитку ринкових відносин у галузі машинобудування, автомобілебудування актуальним є завдання розроблення нових способів шліфування, які забезпечать підвищення продуктивності оброблення при збереженні високої точності та якості оброблюваних поверхонь деталей.

Аналіз досліджень і публікацій. На заточних верстатах оброблення торцевої поверхні твердосплавних пластин виконують торцем алмазного круга, нахилоного відносно оброблюваної поверхні пластини. При цьому виникає геометрична похибка формоутворення, яка залежить від діаметра шліфувального круга, орієнтації його та деталі, яку не досліджено в роботі [1].

Відома фірма Saturn (Німеччина) виконує оброблення торцевих поверхонь деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах з круговою подачею деталей у зону обробки [2]. Відсутні калібруючі ділянки на шліфувальних кругах.

Дослідження точності оброблюваних поверхонь при двосторонньому торцевому шліфуванні кругами з калібруючими ділянками з увігнутим профілем представлено в роботах [3–6].

У роботі [7] представлено високоефективний спосіб однопрохідного двостороннього шліфування торців деталей, який забезпечує підвищення точності формоутворення та якості обробленої поверхні деталі. Практичне застосування запропонованого способу при двосторонньому шліфуванні торцевих поверхонь деталей потребує теоретичного та експериментального дослідження продуктивності шліфування, теплонапруженості процесу та точності оброблюваних поверхонь.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження процесу шліфування торцевих поверхонь круглих та некруглих деталей торцями кругів з калібруючими ділянками та без них.

Мета статті. Метою статті є порівняння результатів, отриманих при теоретичних та експериментальних дослідженнях процесу шліфування торців круглих і некруглих деталей орієнтованими профільованими шліфувальними кругами, визначення області застосування кругів з торцевими поверхнями без калібруючих ділянок та з ними.

Виклад основного матеріалу. Одночасну обробку двох торців круглих (рис. 1, *а*) та некруглих (рис. 1, *б*) деталей здійснювали на двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО, при цьому використовуються шліфувальні круги 1-450×305×63-25А40СТ1Б8, перед обробленням шліфувальні круги правились пристроєм для правки чорнових ділянок (рис. 1, *в*) та алмазним інструментом, закріпленим у барабані подачі виробів, що править калібруючі ділянки (рис. 1, *г*).

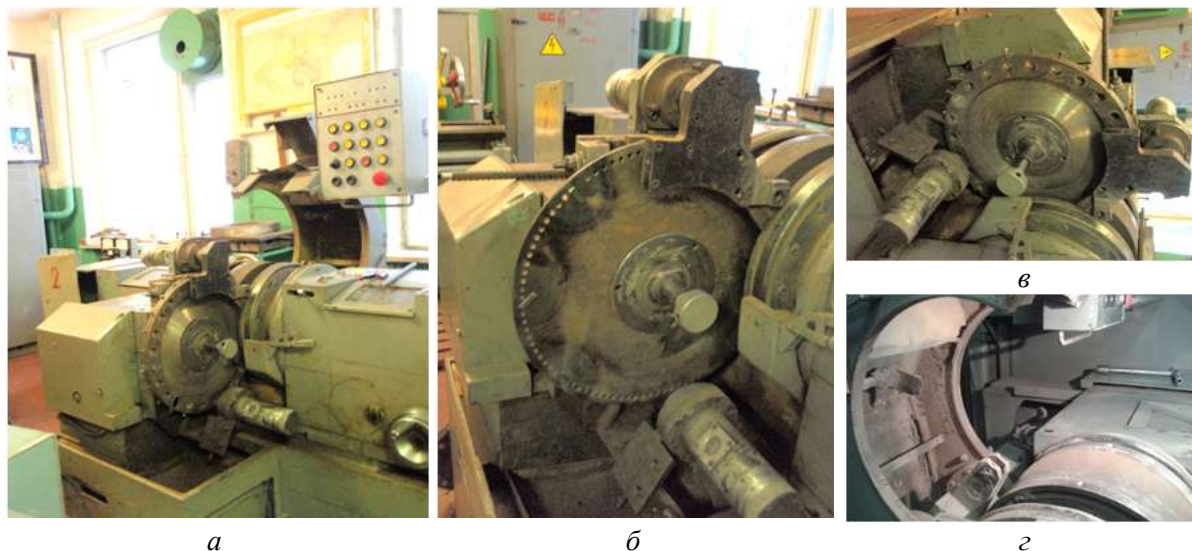


Рис. 1. Шліфування торців круглих (*а*), некруглих (*б*) деталей та правка шліфувальних кругів (*в*, *г*)

На двосторонньому торцешліфувальному верстаті виконували оброблення торців таких деталей: поршневих пальців (рис. 2, *а*) діаметром 13h7 мм, матеріал сталь 40Х, хрестовин карданних валів (рис. 2, *б*), діаметр торця 15 мм, довжина 66_{-0,03}, матеріал – сталь 45Х, кінцеві міри (рис. 2, *в*) розмір оброблюваних торців 35х9 мм, відхилення по довжині не повинно перевищувати 0,8 мкм, відхилення від площинності – 0,3 мкм, матеріал ШХ15.

Продуктивність шліфування торців деталей залежить від припуску, що знімається, розмірів деталі, швидкості обертання барабана подачі виробів, податливості системи, яка змінюється за координатою обробки та від температур нагрівання деталі.



Рис. 2. Оброблені деталі

Питома Q_{yin} та миттєва Q_m продуктивності визначаються за формулами [8]:

$$Q_{yin}(\Theta, \Pi_i) = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k, \quad (1)$$

$$Q_m(\Theta, \Pi_i) = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (2)$$

де \bar{V}_{in} – вектор швидкості відносного руху;

\bar{n}_{in} – вектор нормалі i -тої точки профілю круга після обробки n деталей;

R_i , – радіус координати i -тої точки профілю круга після правки;

$I_{in}(\Theta)$ – знос шліфувального круга, який залежить від тимчасового опору, що залежить від температури нагрівання Θ деталі;

α_{in} – кут нахилу дотичної в i -тій точці профілю, що визначає напрямок зносу $I_{in}(\Theta)$ круга, який залежить від температури нагрівання деталі Θ ;

Π_i – коефіцієнт, що враховує податливість системи;

θ_k – кутовий параметр круга;

i_1, i_2 – граничні значення параметра i осьового перерізу круга в зоні контакту;

$\theta_{1ki}, \theta_{2ki}$ – кутові координати плями контакту на радіусі $R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i$;

$1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right)$ – вірогідність видалення матеріалу заготовки.

Знос шліфувальних кругів визначається за формулами, наведеними в роботі [8]:

$$q_i(\Theta, \Pi_i) = \frac{Q_a}{Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)} = C_q \cdot Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)^{m-1}, \quad (3)$$

де Q_a – об’ємна кількість зношеного абразиву за одиницю часу;

$Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)$ – швидкість зняття металу, яка залежить від температури нагрівання деталі та податливості системи;

C_q – коефіцієнт, рівний швидкості зносу при $Q_{yin}(\Theta, \Pi_i) = 1$.

Знос контролюється датчиком, закріпленим у барабані подачі виробів, щуп якого дотикається до профілю шліфувального круга. Для визначення зносу профіль шліфувального круга заміряється перед та після обробки деталей.

Питомий знос шліфувального круга згідно з [9] 0,015-0,05 мм³ абразиву на мм³ металу. Розрахована величина об’ємного зносу шліфувального круга після обробки 10 деталей 10,99 мм³.

Для розрахунку складових сил різання потрібно враховувати напругу зсуву, яка залежить від температури нагрівання деталі [8], вона знаходиться із залежності $\tau_s(\Theta) = \tau_{s20} \cdot k_{\Theta}(\Theta)$, де τ_{s20} – напруга зсуву при температурі 20°C, $k_{\Theta}(\Theta)$ – коефіцієнт, що враховує зміну властивостей оброблюваного матеріалу при зміні температури Θ , графіки зміни якого наведені на рис. 3.

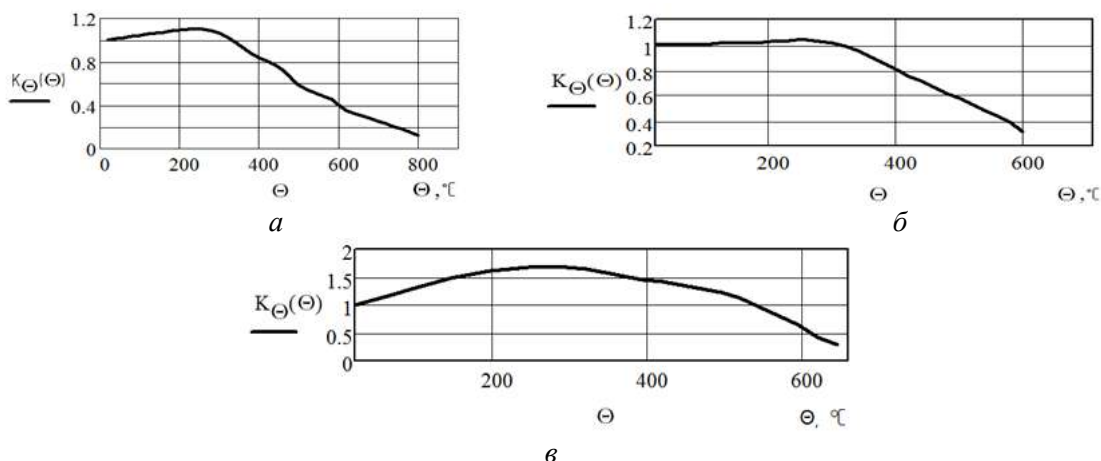


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта K_{Θ} від температури нагрівання деталі Θ для сталей 3X15 (а), 40X (б), 45X (в)

Перед обробкою деталі правлять для зняття потрібного припуску, щоб не правити торць кожний раз спочатку відбувається правка калібруючої ділянки для зняття найменшого припуску (рис. 4, а), після обробки відбувається правка на наступні припуски (рис. 4, б), після чого шліфувальний круг правиться на максимальний припуск (рис 4, в).

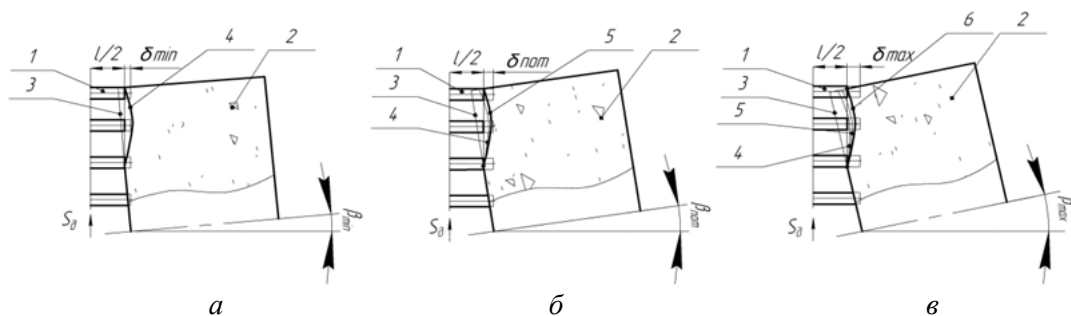


Рис. 4. Обробка деталей з різними припусками: 1 – шліфувальний круг; 2 – оброблювана деталь; 3 – профіль шліфувального круга до правки; 4, 5, 6 – профілі калібруючої ділянки шліфувального круга після правки на мінімальну, поточну та максимальну глибину обробки

Для визначення оптимальних значень повороту круга у вертикальній площині, величини припуску та швидкості кругової подачі деталі й отримання при цьому високої продуктивності шліфування, застосовувався метод математичного планування експерименту. Як параметр оптимізації Y була обрана продуктивність шліфування Q , як фактор – поворот круга φ у вертикальній площині, величина припуску δ та швидкість деталі v_d . Використано повний факторний експеримент типу 2^3 із взаємодіями.

Нульовий рівень для повороту круга φ у вертикальній площині – 0,15 мм, величина припуску δ – 0,3 мм і швидкість деталі v_d – 0,78 м/хв. Діапазони варіювання факторів: φ – 0,11-0,19 мм; δ – 0,15-0,45 мм; v_d – 0,48-1,08 м/хв.

Для розрахунку коефіцієнтів складемо матрицю планування експерименту 2^3 з ефектом взаємодії:

№	X_1 (φ , мм)	X_2 (δ , мм)	X_3 (v_d , м/хв)	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Y (Q)
1	+	+	+	+	+	+	+	85,84
2	-	+	+	-	-	+	-	28,61
3	+	-	+	-	+	-	-	89,25
4	-	-	+	+	-	-	+	32,80
5	+	+	-	+	-	-	-	38,15
6	-	+	-	-	+	-	+	12,17
7	+	-	-	-	-	+	+	42,62
8	-	-	-	+	+	+	-	25,54

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Рівняння математичної моделі в кодованих значеннях має вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (4)$$

Після обробки отриманих результатів визначили значення коефіцієнтів у рівнянні математичної моделі:

$$Y = 65,34 + 7,06 \cdot X_1 - 12,32 \cdot X_2 + 24,42 \cdot X_3 + 9,06 \cdot X_1 \cdot X_3 - 10,08 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (5)$$

Аналіз рівняння регресії (5) показав, що вплив на продуктивність обробки здійснюють поворот круга φ у вертикальній площині, величина припуску δ та швидкість деталі v_d , а їх взаємодія та взаємодія поворот круга φ у вертикальній площині, величина припуску δ не впливають на результати експерименту.

Експериментально досліджено температуру при двосторонньому торцевому шліфуванні деталей, встановлених у барабана подачі виробів. На рис. 5 наведено осцилограму т.е.р.с. по координаті обробки. Для визначення потужності, яка затрачується на зрізання припуску в кожний момент часу, вимірювали активну потужність (рис. 6) за допомогою вимірювального перетворювача активної потужності E859/2, показання якого реєструвалися за допомогою самописця НЗ031/1.

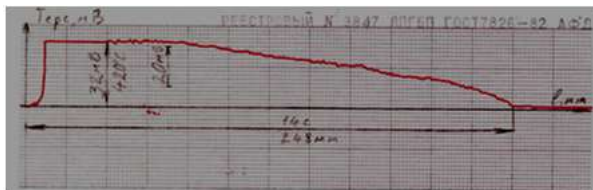


Рис 5. Осцилограма т.е.р.с. по координаті обробки

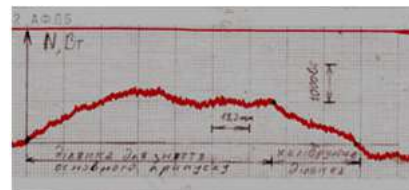


Рис. 6. Потужність шліфування торців по координаті обробки

Також активну потужність вимірювали за допомогою аналізатора якості електроенергії aflex-6300 (рис. 7, а). Обертання поршневого пальця заміряли на цифровому лазерному безконтактному тахометрі HS2234 (рис. 7, б). Температуру в зоні різання вимірювали за допомогою тепловізора моделі ULIRvision TI384 та інфрачервоного термометра KM826.



Рис. 7. Вимірювальні прилади

Вперше досліджувалось обертання деталі в зоні обробки. Частота обертання деталі вимірювалась за допомогою лазерного тахометра (рис. 8, а), при цьому наноситься риска 7. Зняття припуску вимірюється за допомогою датчика [8]. Котушка індуктивності 3 (рис. 8, а) намотана на каркасі 4 з немагнітного матеріалу, який поміщено в гільзу та зафіксовано скобою 2. Поршневий палець 6 встановлено в отвір каркасу 4, який є базою в радіальному напрямку. Скоба 2 дозволяє закріпити датчик у барабані подачі виробів верстата. В осьовому напрямку поршневий палець фіксується шліфувальними кругами 1 та 5, δ – припуск, що зрізується, D, d – внутрішній та зовнішній діаметри поршневого пальця відповідно.

Теоретично обертання визначається за допомогою розрахунку моментів, що діють від сил Pz (рис. 8, б) при шліфуванні інструментами 1, деталі з круглим профілем 3, що закріплена в барабані подачі виробів.

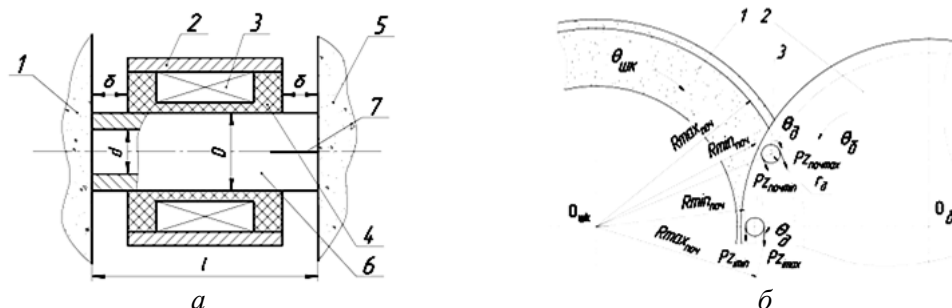


Рис. 8. Шліфування деталі з круглим профілем, що обертається під час обробки:
 1 – шліфувальний круг; 2 – барабан подачі виробів; 3 – оброблювана деталь

Під час шліфування поршневих пальців, їх кріплять у подаючому барабані, вони обертається за рахунок сил різання, які можна визначити за допомогою експериментально визначеної потужності за формулою [10]:

$$Pz_i = \frac{Npiz_i}{V_i}, \tag{6}$$

де $Npiz_i$ – потужність шліфування торців деталей;

V_i – швидкість різання, яка визначається з рівняння (7).

$$V_i = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{60 \cdot 1000}, \tag{7}$$

де D_i – діаметр розташування точок деталі на поверхні шліфувального круга;

n – частота обертання шліфувального круга.

Момент від дії сили, що змушує деталь обертатися визначаються з формули:

$$M = Pz_{i \max} \cdot r_{\partial} - Pz_{i \min} \cdot r_{\partial} \cdot k = r_{\partial}(Pz_{i \max} - Pz_{i \min}) \cdot k, \tag{8}$$

де r_{∂} – радіус оброблюваної деталі;

$Pz_{i \max}$, $Pz_{i \min}$ – значення сили різання на максимальному та мініальному радіусі дотику шліфувального круга та деталі (рис. 8, б);

k – коефіцієнт, що враховує сили тертя при шліфуванні торців деталей.

Сила різання та частота обертання деталі змінюється пропорційно зміні радіуса дотику шліфувального круга та деталі. Pz максимальна на вході деталі в зону обробки та мінімальна при виході.

Вимірювання шорсткості Ra торцевих поверхонь деталей виконувалось на профілографі-профілометрі моделі 201 (рис. 9, а). а також на портативному профілометрі Pocket Surf III. (рис. 9, б). Шорсткість при обробці торців деталей становила: для кінцевої міри, що розташовувалась меншою стороною паралельно радіусу барабана $Ra = 0,48-0,5$ мкм, що розташовувалась більшою стороною паралельно радіусу барабана $Ra = 0,99-1,05$ мкм, для пластинок, оброблених на заточувальному верстаті, при орієнтації шліфувального круга на кут $1^\circ - Ra = 0,09$ мкм, $2^\circ - Ra = 0,25$ мкм, $3^\circ - 0,38$, для стержня $Ra = 0,32$ мкм, для хрестовини карданного вала $Ra = 0,31$ мкм.



Рис. 9. Профілометри

На рис. 10 зображено профілограми торцевих поверхонь: а – хрестовини карданного валу, б – поршневого пальця, в, г – кінцевих мір, д, е, є – твердосплавних пластин.

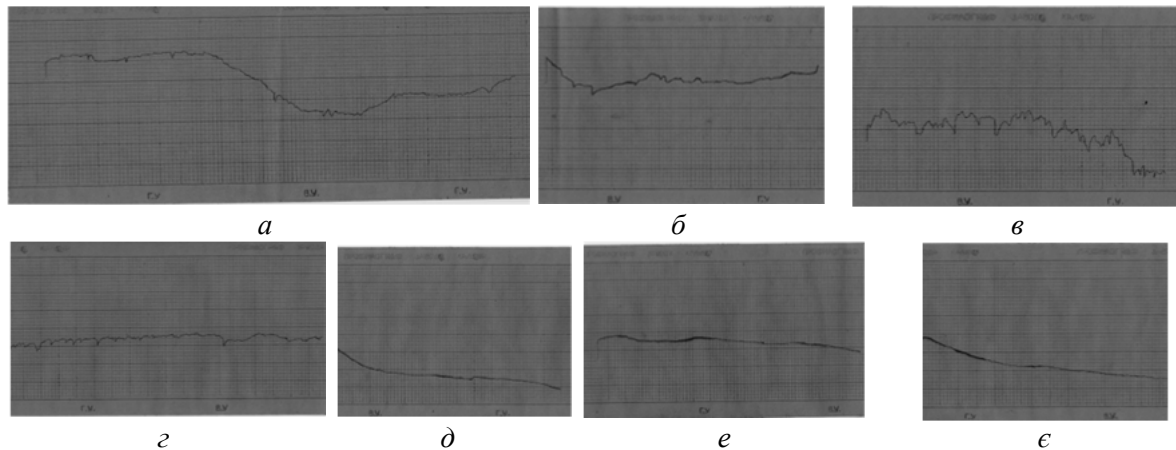


Рис. 10. Профілограми оброблених торцевих поверхонь деталей з круглими та не круглими торцями

Неплощинність, неперпендикулярність, непаралельність торців деталей вимірювалась приладом «TALYROUND» (рис. 11).

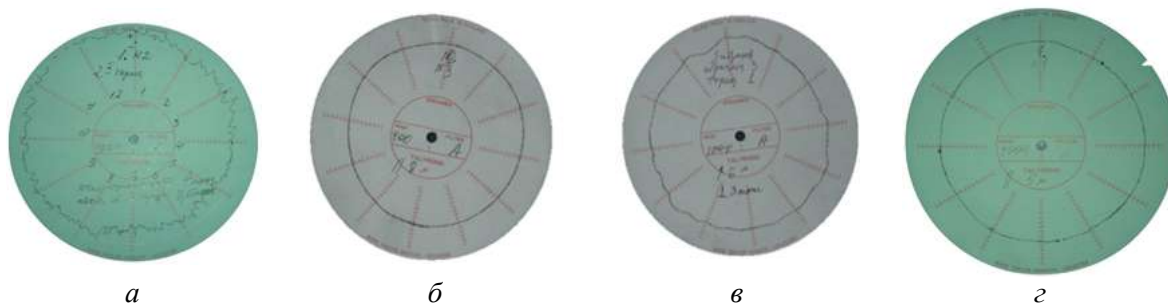


Рис. 11. Неплощинність та неперпендикулярність торця хрестовини карданного вала (а, б) та торця поршневого пальця ДВЗ (в, г)

При зрізанні невеликих припусків немає потреби робити калібруючі ділянки на шліфувальних кругах. Для обґрунтування потреби застосування каліюруючих ділянок шліфувальних кругів потрібно спочатку розрахувати похибку формоутворення, при цьому можна скористатися методикою, наведеною в роботі [10].

Дослідження процесу шліфування торцевих поверхонь проводилось на верстаті В3208Ф3 (рис. 12) для твердосплавних прямокутних пластин Т15К6 розмірами 12x14 (рис. 13, а), 12x20 (рис. 13, б), 10x15 (рис. 13, в), алмазним кругом 12А2-450 150 32 10 3 АС6 125/100 100% В2-01.

При обробці твердосплавних пластин шліфувальний круг повертався на кути 1°, 2° та 3° відносно оброблюваної поверхні деталі, подача деталі 12 м/хв, глибина різання 0,05 мм. Пластинка розташовується більшою стороною вздовж поперечної подачі столу для зменшення геометричної похибки формоутворення.



Рис. 12. Шліфування твердосплавної пластини на верстаті моделі В3208Ф3

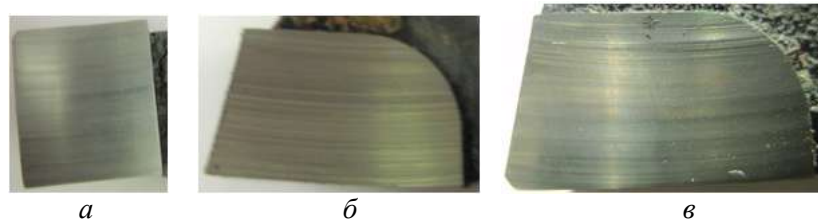


Рис. 13. Оброблені твердосплавні пластинки

Геометрична похибка формоутворення, розрахована за методикою, наведеною в роботі [11], на ширині 12 мм при куті орієнтації 1° шліфувального круга становить 4,22 мкм, на ширині 12 мм при куті орієнтації 2° шліфувального круга 8,45 мкм, на ширині 10 мм при куті орієнтації 3° шліфувального круга 8,8 мкм. Розбіжність значень величин похибок з отриманими не перевищує 9 %.

У роботі [11] наведено графіки геометричної точності формоутворення передньої поверхні різальної пластини від таких параметрів: кута орієнтації шліфувального круга відносно деталі, орієнтації деталі, радіуса шліфувального круга.

Висновки. Представлений спосіб двостороннього шліфування торцевих поверхонь деталей орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками, що забезпечує підвищення точності та продуктивності обробки, шорсткість оброблених поверхонь деталей при експериментальному дослідженні становила $Ra = 0,32\text{--}1,25$ мкм. Перед обробкою відбувається правка калібруючих ділянок шліфувального круга для кожної величини припуску, що знімається, починаючи від найменшої. Експериментально визначено неплоскостність, неперпендикулярність, непаралельність оброблюваних торців деталей, температуру та потужність за координатою обробки. Розбіжність результатів, отриманих при експериментальному та теоретичному дослідженні знаходяться в межах 10 %.

Вперше досліджено обертання поршневіх пальців, заміряно частоту їх обертання по координаті обробки.

Для забезпечення високої продуктивності обробки проведено планування повних факторних експериментів з трьома факторами. Аналіз рівнянь регресії показав, що при двосторонньому торцевому шліфуванні вплив на продуктивність шліфування має величина припуску, що знімається, швидкість обертання барабана подачі виробів орієнтація шліфувальних кругів.

Досліджено вплив кута орієнтації деталі шліфувального круга, при обробці на заточному верстаті, на точність формоутворення передньої поверхні пластинок різців. Розбіжність результатів при теоретичному та експериментальному визначенні точності обробленої передньої поверхні пластин не перевищує 9 %.

Список використаних джерел

1. Музичка Д. Г. Підвищення ефективності шліфування твердих сплавів спрямованим обмеженням формозміни різальної поверхні шліфувальних кругів : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. Г. Музичка. – Чернівці, 2015. – 20 с.
2. 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.
3. Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник наукових праць. – 2006. – Вип. 28. – С. 35–44.
4. 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.
5. Деклараційний патент на винахід (корисну модель) 10636, Україна, МПК В24В5/04. Спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей / Кальченко В. В., Жа-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

дан О. В. ; заявники та патентовласники Кальченко В. В., Жадан О. В. – № u200505125 ; заявл. 30.05.05; опубл. 15.11.05, Бюл. №1.

6. Кальченко В. В. Профилирование ориентированных кругов при двустороннем шлифовании торцов цилиндрических деталей / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Информационные технологии: наука, техника, образование, здоровье : тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (15-16 мая 1999 г., Харьков). – Х. : ХГПУ, 1999. – № 7, ч. 2. – С. 131–133.

7. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали. Издание 2-е, дополненное : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧНТУ, 2015. – 504 с.

8. Кальченко В. І. Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, О.С. Следнікова // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 4 (2016). – С. 72–82.

9. Филимонов Л. Н. Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1985. – 109 с.

10. Венжега В. І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. І. Венжега. – Х., 2009. – 214с.

11. 3D-модельовання 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 : зб. – 2014. – № 2 (73). – С. 55–62.

References

1. Muzychka, D.H. (2015). Pidvyshchennia efektyvnosti shlifuvannia tverdikh splaviv spriamovanim obmezheniam formozminy rizalnoi poverkhni shlifovalnykh kruhiv [Increasing efficiency grinding of hard alloys by directional restriction of the deformation of the cutting surface of grinding wheels]. *Extended abstract of PhD's thesis*. Chernihiv (in Ukrainian).

2. Saturn. Tortcevoe shlifovanie sparennymi shlifoval'nymi krugami: [Zhurnal dlja klientov firmy «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 p. (in Russian).

3. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Rudyk, A.V. & Venzheha, V.I. (2006). Doslidzhennia protsesu odnoprokhidnoho dvostoronnoho shlifuvannia [Research of Single Pass bilateral grinding]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 28, pp. 35–44 (in Ukrainian).

4. Kalchenko, V.V. & Pasov, H.V. (1999). Formoutvorennia ne obertaiuchyhsia pry obrobsi tsylindrychnykh detalei profilovanymy i oriientovanymy kruhamy [The shape is not obertayuchyhsya the processing of cylindrical parts profiled and oriented circles]. *Visnyk ChDTU – Journal ChSTU*. no. 9, pp. 11–17 (in Ukrainian).

5. Kalchenko, V.V., Zhadan, O.V. (2005). *Sposib odnochasnoho shlifuvannya dvokh tortsiv tsylindrychnykh detaley*. Deklaratsiynyy patent na vynakhid (korysnu model) 10636, Ukraina MPK V24V5/04. № u200505125 (in Ukrainian).

6. Kalchenko V.V. & Pasov H.V. (1999) Profilirovanie orientirovannykh krugov pri dvustoronnem shlifovanii torcov cilindricheskikh detalej [Profiling oriented circles at the ends of the bilateral grinding of cylindrical parts]. *Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, obrazovanie, zdorove : tezisy dokl. VII Mezhdunar. nauch.-tehn. konf – Information technology: science, technology, education, health: Abstracts. VII Intern. scientific and engineering. conf.*, no 7, Chast' 2. – pp. 131-133. (in Russian).

7. 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).

8. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. & Sliednikova, O.S. (2016). Doslidzhennia protsesu shlifuvannia tortsiv oriientovanykh detalei profilovanymy kruhamy [Investigation of grinding parts ends oriented profiled circles]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Bulletin of Cherkasy State Technological University. Series: Technical sciences*, no. 4, pp. 72–82 (in Ukrainian).

9. Filimonov, L.N. (1985). *Ploskoe shlifovanie [Surface grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).

10. Venzheha, V.I. (2009) *Pidvyschennia efektyvnosti shlifuvannia tortsiv pry skhreshchenykh osiakh detali ta kruha z kalibruvalnoiu diliansiu [Improved grinding ends with crossed axes and circle details of calibration plot]*. *Candidate's thesis*. Kharkiv: National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (in Russian).

11. Kalchenko, V.I., Slednikova, O.S., Kalchenko, D.V., Muzychka, D.H. (2014). 3D-modeljuvannja instrumentiv ta formoutvorenja pry shlifuvanni tortsiv neperetochuvanyh prjamokutnyh plastyn oriietovanyh krugom [3D-modeling tools and forming the grinding ends neperetochuvanyh rectangular plates oriented around]. *Visnyk Chernigivskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 2 (73), pp. 55–62 (in Ukrainian).

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 Road Transport and Industrial Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kalchenkovi@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9850-7875>

ResearcherID: G-9477-2014

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

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).

Venzheha Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Road Transport and Industrial Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: venzhegavi@mail.ru

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

ResearcherID: H-3560-2014

Следнікова Олена Сергіївна – аспірант, асистент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027 Україна).

Следникова Елена Сергеевна – аспирант, ассистент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Slednikova Olena – PhD student, assistant of road transport industry and mechanical engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: s_lena_s@bigmir.net

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

ResearcherID: N-4430-2015

Кальченко Дмитро Володимирович – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Кальченко Дмитрий Владимирович – магистр, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kalchenko Dmytro – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net

Віталій Кальченко, Володимир Кальченко, Андрій Єрошенко, Наталія Сіра

**ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ, ЗНОСУ КРУГА, ТОЧНОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ
ТА ТЕПЛОАПРУЖЕНОСТІ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ
ТА СТУПІНЧАТИХ ВАЛІВ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ДЕТАЛІ ТА КРУГА**

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko, Nataliia Sira

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОЦЕССА СНЯТИЯ ПРИПУСКА, ИЗНОСА КРУГА, ТОЧНОСТИ
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ТЕПЛОАПРЯЖЕННОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ СО СКРЕЩЕННЫМИ
ОСЯМИ ДЕТАЛИ И КРУГА**

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko, Nataliia Sira

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS PROCESS STOCK
REMOVAL, WHEEL WEAR, FORMING ACCURACY AND THERMAL VOLTAGE
AT GRINDING OF CYLINDRICAL AND STEPPED SHAFTS WITH CROSSED
AXES OF PART AND WHEEL**

Практичне застосування нових високопродуктивних способів шліфування циліндричних та ступінчастих валів потребує їх теоретичного та експериментального дослідження за основними показниками обробки: продуктивності шліфування, інтенсивності зносу інструменту та теплонапруженості. При теоретичних розрахунках врахування теплонапруженості процесу здійснюється через коефіцієнт, який враховує зміну фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу з підвищенням його температури нагрівання. З метою забезпечення максимальної продуктивності шліфування проведено планування повного факторного експерименту з трьома факторами (повздовжня подача на оберт та швидкість деталі, а також кут орієнтації інструменту) та перевірена значущість коефіцієнтів регресії.

Ключові слова: шліфування, циліндричний вал, ступінчатий вал, абразивний круг, алмазний круг, схрещені осі.

Рис.: 8. Бібл.: 12.

Практическое применение новых высокопроизводительных способов шлифования цилиндрических и ступенчатых валов требует их теоретического и экспериментального исследования по основным показателям обработки: производительности шлифования, интенсивности износа инструмента и теплонапряженности. При теоретических расчетах учет теплонапряженности процесса осуществляется через коэффициент, учитывающий изменение физико-механических свойств обрабатываемого материала с повышением его температуры нагрева. С целью обеспечения максимальной производительности шлифования проведено планирование полного факторного эксперимента с тремя факторами (продольная подача на оборот и скорость детали, а также угол ориентации инструмента) и проверена значимость коэффициентов регрессии.

Ключевые слова: шлифование, цилиндрический вал, ступенчатый вал, абразивный круг, алмазный круг, скрещенные оси.

Рис.: 8. Библ.: 12.

Practical application of new grinding methods of high-performance cylindrical and stepped shafts requires their theoretical and experimental research on the basic machining parameters: grinding performance, the wear rate of tool and thermal stress. Accounting thermal stress process in theoretical calculations is carried out through coefficient, which with increase of the heating temperature considering change of physico-mechanical properties of the processed material. In order to ensure the maximum performance of grinding the planning of full factorial experiment with three factors (longitudinal feed per revolution and the speed of detail and the angle of the tool orientation) carried out and the significance of the regression coefficients tested.

Key words: grinding, cylindrical shaft, stepped shaft, grinding wheel, diamond grinding wheel, crossed axis.

Fig.: 7. Bibl.: 12.

Постановка проблеми. На сучасних автомобілебудівних, верстатобудівних та інших машинобудівних заводах широко використовуються циліндричні та ступінчасті валики. Для забезпечення високих техніко-експлуатаційних показників та надійності роботи вказаних деталей висуваються високі вимоги до точності їх геометричної форми та якості поверхневого шару, які забезпечуються фінішними операціями на шліфувальних верстатах [1; 2].

В умовах подальшого розвитку ринкових відносин у галузі машинобудування актуальним є завдання розроблення нових способів шліфування, які забезпечуватимуть під-

вищення продуктивності оброблення при збереженні високих точності та якості оброблених поверхонь деталей.

Аналіз досліджень і публікацій. Під час оброблення великогабаритних трубо- та листопрокатних валиків використовується спосіб глибинного шліфування поверхонь обертання орієнтованим широким циліндричним кругом [3; 4], який значно підвищує точність формоутворення та продуктивність шліфування. Німецька фірма Junker досягла підвищення продуктивності в 5–6 разів у порівнянні з традиційним круглим шліфуванням завдяки впровадженню способу глибинного однопрохідного високошвидкісного шліфування (до 140 м/с) зі схрещеними осями інструмента та деталі на верстатах Quickpoint 1000, Quickpoint 3000, Quickpoint 5000 [5].

Дослідження способу шліфування зі схрещеними осями круга і деталей з профілем у вигляді дуги кола наведено в роботі [6].

У роботі [7] представлено високопродуктивний спосіб глибинного шліфування циліндричних та ступінчастих валів зі схрещеними осями круга та деталі, який забезпечує підвищення точності формоутворення та якості обробленої поверхні деталі. Оброблення деталі здійснюється за один установ орієнтованим шліфувальним кругом, де чорновий припуск знімає торець інструменту, а чистове шліфування та калібрування виконує широка розвантажена ділянка його периферії. Практичне застосування запропонованого способу під час шліфування циліндричних та ступінчастих валів потребує теоретичного та експериментального дослідження за основними показниками обробки: продуктивності шліфування, інтенсивності зносу інструмента та теплонапруженості процесу.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відсутність теоретичних та експериментальних досліджень процесу глибинного шліфування циліндричних та ступінчастих валів зі схрещеними осями круга та деталі.

Мета статті. Метою статті є порівняння результатів, отриманих у процесі теоретичних та експериментальних досліджень процесу глибинного однопрохідного шліфування циліндричних та ступінчастих валів зі схрещеними осями круга та деталі, що сприятиме подальшому практичному застосуванню способу в промисловості.

Виклад основного матеріалу. Теоретичне дослідження процесу глибинного однопрохідного шліфування зі схрещеними осями круга та деталі проводиться для циліндричного вала зі сталі 45 діаметром 20 мм та абразивного круга ПП200×20×32 64С 25П СМ2 К3.

Під час оброблення циліндричної деталі шліфувальний круг повертають відносно горизонтальної осі оброблюваної деталі на кут $\varphi = 1^{\circ}$ [7; 8], що забезпечує фіксацію його формоутворюючої ділянки, а вісь повороту інструменту розташовують на відстані від торця, рівній радіусу заокруглення радіусної крайки шліфувального круга та половини подачі s на оберт деталі з метою забезпечення роботи широкої ділянки його периферії. Шліфувальний круг подається на всю глибину різання $t = 0,5$ мм і переміщується вздовж горизонтальної осі деталі з подачею $s = 0,1$ мм/об, при цьому чорновий припуск знімається торцем круга, а чистова обробка здійснюється широкою ділянкою його периферії.

У ході теоретичних розрахунків отримані залежності (1) та (2) для визначення питомої $Q(i)$ та миттєвої $Q_m(i)$ продуктивності при глибинному однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями деталі та абразивного круга, графіки розподілу яких вздовж профілю інструмента (координата i) представлені на рис. 1:

$$Q(i) = \int_{\alpha 1(i)}^{\alpha 2(i)} (Vn(\alpha, i) - y_{\text{esc}}) \cdot R_{\text{ШК}}(i) \cdot k_{\text{np}} \cdot d\alpha, \quad (1)$$

$$Q_m(i) = \int_{i1}^{i2} \left[\int_{\alpha 1(i)}^{\alpha 2(i)} (Vn(\alpha, i) - y_{\text{esc}}) \cdot R_{\text{ШК}}(i) \cdot k_{\text{np}} \cdot d\alpha \right] \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{\text{ШК}}(i)}{di} \right)^2 + \left(\frac{dZ_{\text{ШК}}(i)}{di} \right)^2} \cdot di, \quad (2)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

де V_n – проекція вектора відносної швидкості руху інструменту на напрямок нормалі до його поверхні;

y_{eys} – податливість системи, яка залежить від лінійного положення точки на профілі деталі та коефіцієнта статичної податливості k_{eys} : $y_{eys} = f(i_d, k_{eys})$;

$R_{шк}(i)$ – радіус шліфувального круга;

k_{np} – коефіцієнт, який враховує ймовірність видалення матеріалу [9; 10];

α та i – кутова та лінійна координати профілю шліфувального круга;

$\sqrt{\left(\frac{dR_{шк}(i)}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{шк}(i)}{di}\right)^2}$ – ширина елементарної площадки в осьовому перерізі круга.

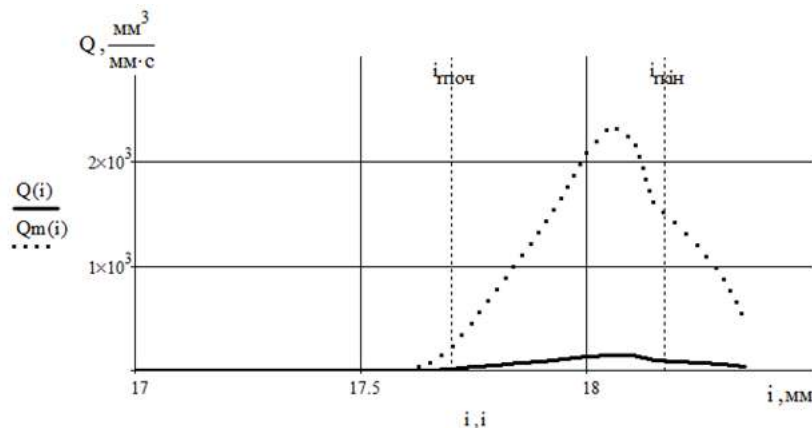


Рис. 1. Розподіл питомої $Q(i)$ та середньої $Q_m(i)$ продуктивності шліфування вздовж профілю абразивного круга під час оброблення циліндричного вала

На рис. 1 ділянка до координати $i_{точ}$ відповідає периферії круга, яка є чистою ділянкою; від координати $i_{точ}$ до $i_{кін}$ – перехідній радіусній крайці інструменту; після координати $i_{кін}$ – торцю інструменту, на який припадає чорновий припуск.

Оцінка зносу шліфувального круга визначається через його об’ємний знос:

$$K = \frac{Q_a}{Q_{yin}}, \tag{3}$$

де Q_a – об’ємна кількість зношеного абразиву за одиницю часу [10];

Q_{yin} – швидкість зняття металу за той же час.

Теоретично розрахована величина об’ємного зносу абразивного круга при шліфуванні циліндричного вала становить $K = 19,3$ мм³/хв.

При розрахунку складових сил різання [11], які впливають на потужність шліфування, врахування впливу нагрівання оброблюваного матеріалу здійснюється через величину напруги зсуву, яка знаходиться за залежністю: $\tau_s(t) = \tau_{s20} \cdot k_t$, де τ_{s20} – напруга зсуву при температурі 20 °С; k_t – коефіцієнт, який враховує зміну фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу з підвищенням температури нагрівання t деталі.

На рис. 2 наведено графік зміни напруги зсуву τ_s сталі 45 залежно від температури t . За даними графіка визначено коефіцієнт k_t для сталі 45:

$$k_t = -2 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 10^{-5} \cdot t^2 + 0,003 \cdot t + 0,924.$$

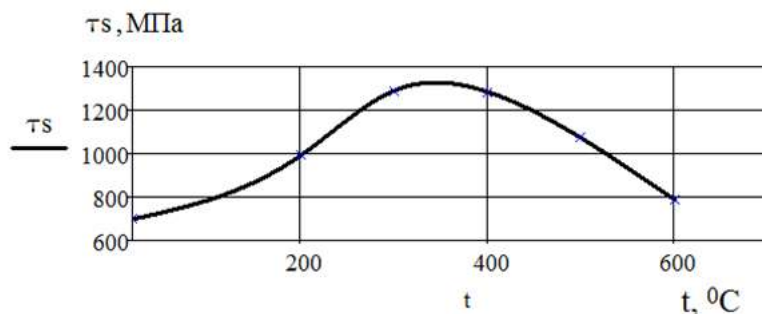


Рис. 2. Залежність напруги зсуву τ_s від температури нагріву t для сталі 45

Теоретично розрахована величина потужності при глибинному однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного вала зі сталі 45 діаметром 20 мм і абразивного круга ПП200×20×32 64С 25П СМ2 К3, з глибиною різання $t = 0,3$ мм та по-вздовжньою подачею $s = 0,1$ мм/об деталі, становить $N_m = 899,6$ Вт.

Максимальне значення температури в зоні контакту шліфувального круга та деталі визначається за залежністю, наведеною в [12]:

$$\theta = \frac{q}{2\lambda} \cdot \sqrt{\frac{2\pi \cdot a \cdot h}{v_d}}, \quad (4)$$

де q – густина теплового потоку [10];

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

a – коефіцієнт температуропровідності оброблюваного матеріалу;

v_d – швидкість переміщення теплового джерела.

Визначені за рівнянням (4) максимальні значення температури в зоні контакту шліфувального круга та деталі становлять: на торці інструменту $\theta = 65,8$ °С, на перехідній радіусній крайці $\theta = 84,8$ °С, на периферії шліфувального круга $\theta = 102$ °С.

З метою перевірки достовірності даних, отриманих при теоретичних розрахунках, були проведені експериментальні дослідження процесу глибинного однопрохідного шліфування циліндричних та ступінчатих валів зі схрещеними осями абразивного круга та деталі.

Глибинне однопрохідне шліфування зі схрещеними осями абразивного круга ПП200×20×32 64С 25П СМ2 К3 та циліндричного вала (сталь 45) діаметром 20 мм здійснювалося на верстаті моделі В3208Ф3 (рис. 3).



Рис. 3. Шліфування циліндричного вала зі схрещеними осями абразивного круга та деталі на верстаті моделі В3208Ф3

Для визначення оптимальних значень кута орієнтації круга, величини повздовжньої подачі на оберт та швидкості кругової подачі деталі і отримання при цьому максимальної продуктивності шліфування, застосовувався метод математичного планування експерименту. Як параметр оптимізації Y була обрана продуктивність шліфування Q , як фактори – повздовжня подача на оберт s деталі, кут схрещування осей інструмента та деталі φ та швидкість деталі v_d . Використано повний факторний експеримент типу 2^3 із взаємодіями.

Діапазони варіювання факторів: повздовжня подача на оберт деталі s – 0,05–0,1 мм/об; кут схрещування осей інструмента та деталі φ – 0,5–1,5°; кругова подача деталі v_d – 25–35 м/хв.

Для розрахунку коефіцієнтів складемо матрицю планування експерименту 2^3 з ефектом взаємодії:

№	X_1 (s , мм/об)	X_2 (φ , °)	X_3 (v_d , м/хв)	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	$Y (Q)$
1	+	+	+	+	+	+	+	1087
2	-	+	+	-	-	+	-	617,05
3	+	-	+	-	+	-	-	1401
4	-	-	+	+	-	-	+	928,5
5	+	+	-	+	-	-	-	839,4
6	-	+	-	-	+	-	+	438,1
7	+	-	-	-	-	+	+	1000,5
8	-	-	-	+	+	+	-	627,8

Рівняння математичної моделі в кодованих значеннях має вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (5)$$

Після обробки отриманих результатів визначили значення коефіцієнтів у рівнянні математичної моделі:

$$Y = 867,41 + 214,56 \cdot X_1 - 122,04 \cdot X_2 + 140,98 \cdot X_3 + 21,06 \cdot X_1 \cdot X_3 - 34,32 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (6)$$

Аналіз рівняння регресії (7) показав, що вплив на продуктивність оброблення здійснюють повздовжня s і кругова v_d подачі деталі та кут орієнтації шліфувального круга φ , а їх взаємодія та взаємодія повздовжньої подачі s і кута орієнтації φ не впливають на результати експерименту.

У ході експерименту за допомогою тепловізора визначено температури абразивного круга і деталі при кутах схрещування їх осей $\varphi = 0,5^0$ та $\varphi = 1^0$ (рис. 4).

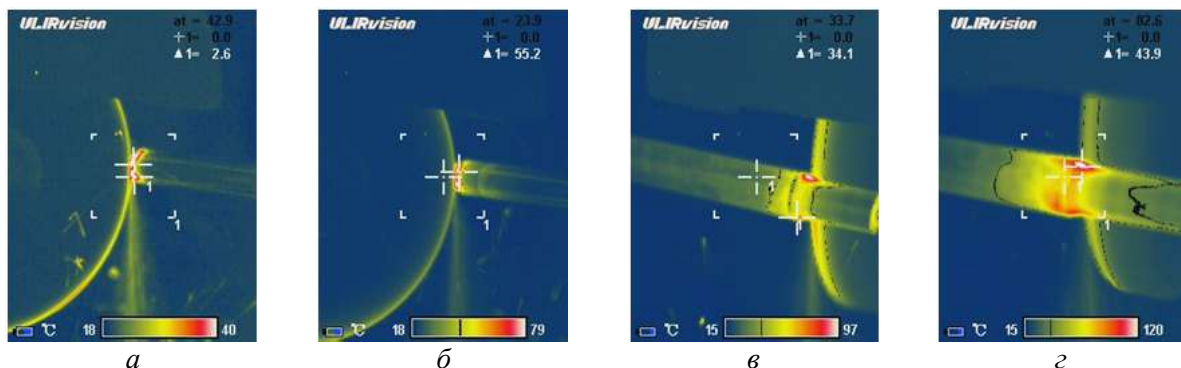


Рис. 4. Температури шліфувального круга і деталі у процесі глибинного однопрядного шліфування при кутах схрещування осей $0,5^0$ (а, б) та 1^0 (в, г)

За допомогою безконтактного термометра були визначені значення температур T_i у зонах контакту шліфувального круга і деталі. На основі отриманих даних побудовано графіки залежності температури T від часу оброблення τ (рис. 5). Як видно із графіків,

найбільші значення температури на виході шліфувального круга з деталі, найменші – на вході шліфувального круга в матеріал заготовки, середні значення – у зоні контакту круга та деталі. Розбіжність значень величини температури з теоретично отриманими значеннями в середньому становить 8 %.

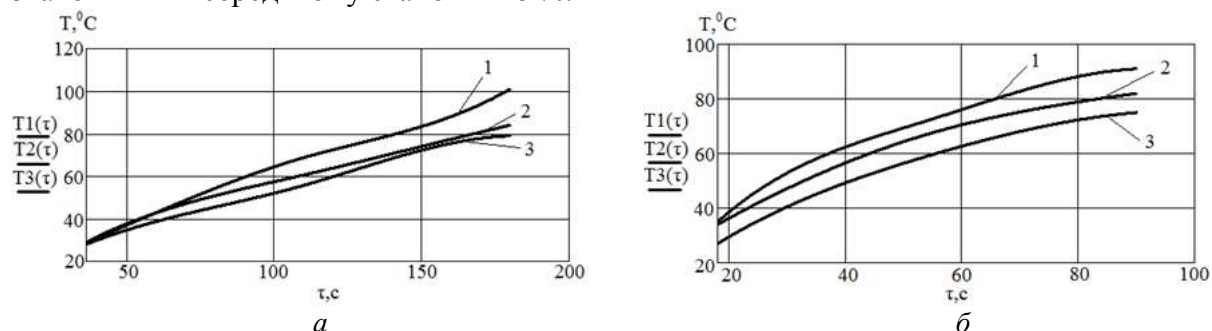


Рис. 5. Температура в зонах контакту шліфувального круга і деталі при кутах схрещування осей $0,5^{\circ}$ (а) та 1° (б): 1 – температура при виході шліфувального круга з деталі; 2 – температура в зоні контакту круга та деталі; 3 – температура на вході шліфувального круга в матеріал деталі

Визначення зносу шліфувального круга здійснено по пластинці за допомогою мікроскопу. На основі отриманих значень побудовано зношений профіль абразивного круга (рис. 6). Як видно із графіка, найбільший знос шліфувального круга припадає на його торець, який є завантаженою ділянкою і зрізує чорновий припуск, середні значення величини зносу припадають на перехідну радіусну крайку, а найменші – на периферію інструменту, яка є чистою і калібруючою ділянкою. Такий розподіл величини припуску вздовж профілю інструменту забезпечує рівномірний знос шліфувального круга, а отже, і високу точність формоутворення деталі.

Експериментально отримане значення об'ємного зносу абразивного круга при глибокому однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі при заданих режимах оброблення становить $K = 17,8 \text{ мм}^3/\text{хв}$. При цьому розбіжність з теоретично отриманим значенням становить 7,8 %.

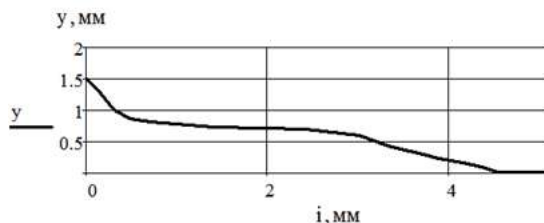


Рис. 6. Профіль зношеної ділянки абразивного круга при глибокому однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі

Шорсткість Ra обробленої поверхні циліндричного вала була визначена за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 і при обробці з кутами схрещування осей круга та деталі $\varphi = 0,5^{\circ}$ та $\varphi = 1^{\circ}$ (рис. 7) складала: при подачі $s = 0,1 \text{ мм/об}$ – $Ra = 0,63-1,25 \text{ мкм}$, при зменшенні подачі до $s = 0,05 \text{ мм/об}$ – $Ra = 0,32-0,63 \text{ мкм}$.

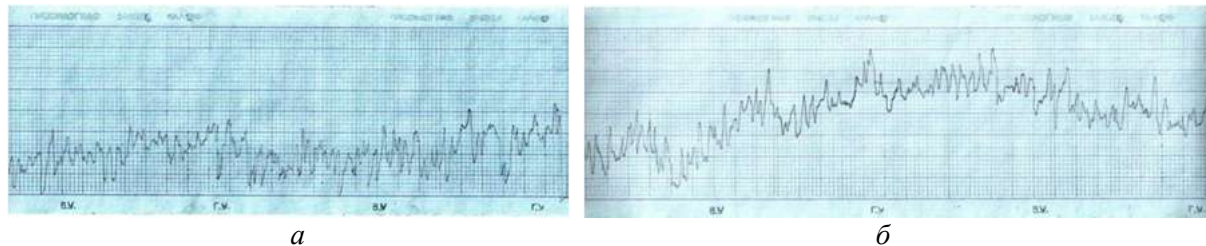


Рис. 7. Профілограми обробленої поверхні циліндричного вала при кутах схрещування осей круга та деталі $0,50$ (а) та 10 (б)

З метою отримання параметра шорсткості обробленої поверхні $Ra = 0,32-0,16$ мкм використовувався ельборовий круг марки 1A1 150×5×32×5 ЛКВ 50 80/63 С2 КС10 100, яким здійснювалося чистове шліфування циліндричної ділянки вала та обробка торця деталі.

Під час оброблення торцевої поверхні циліндричного вала повздовжня подача на оберт деталі та величина кута схрещування осей зменшується [7] і профіль торця отримується шляхом копіювання зовнішнього діаметра алмазного круга врізним шліфуванням, при якому деталь повинна зробити не менше одного оберту. Відхилення від перпендикулярності торцевої поверхні циліндричного вала, обробленого таким способом, становила 6 мкм на висоті торця 0,5 мм.

На рис. 8 наведено результати вимірювання потужності глибокого однопрохідного шліфування зі схрещеними осями абразивного круга та циліндричного вала. Розбіжність значень величини потужності N з теоретично отриманим значенням становить 10 %.



Рис. 8. Результати вимірювання потужності шліфування із схрещеними осями абразивного круга та циліндричного вала

Висновки. Представлений спосіб глибокого однопрохідного шліфування циліндричних та ступінчатих валів зі схрещеними осями круга та деталі забезпечує підвищення продуктивності обробки, точності (ІТ 6-7) та шорсткості ($Ra = 0,32-0,16$ мкм) оброблених поверхонь деталей. Поворот осі шліфувального круга відносно горизонтальної осі оброблюваної деталі забезпечує фіксацію формоутворюючої точки інструменту та можливість її програмування на верстатах з ЧПК.

Зняття чорнового припуску торцем інструменту, а чистового – широкою ділянкою його периферії забезпечує підвищення точності деталі, оскільки найбільше зношується торець шліфувального круга, а формоутворююча точка знаходиться на периферії інструменту. При цьому периферією інструменту знімається весь дефектний шар (0,03–0,05 мм), що забезпечує високу якість оброблених деталей. Експериментально отримане значення об'ємного зносу абразивного круга при становить $17,8 \text{ мм}^3/\text{хв}$.

З метою забезпечення максимальної продуктивності шліфування проведено планування повного факторного експерименту з трьома факторами. Аналіз рівняння регресії показав, що вплив на продуктивність оброблення здійснюють повздовжня подача на оберт та швидкість деталі і кут орієнтації інструменту, а взаємодія повздовжньої подачі і кута орієнтації не впливають на результати експерименту.

У ході експериментальних досліджень визначено величину температури в зонах контакту шліфувального круга та деталі: на вході шліфувального круга в матеріал заготовки (до $80 \text{ }^\circ\text{C}$), у зоні контакту круга та деталі (до $85 \text{ }^\circ\text{C}$) та на виході шліфувального круга з деталі (до $120 \text{ }^\circ\text{C}$). При цьому величина потужності, яка витрачається на глибоке однопрохідне шліфування зі схрещеними осями абразивного круга та деталі, становить 1 кВт. Розбіжність результатів, отриманих при експериментальному та теоретичному дослідженнях процесу глибокого однопрохідного шліфування зі схрещеними осями круга та деталі, знаходиться в межах 10 %.

Запропонований спосіб шліфування може бути використаний під час оброблення не тільки циліндричних та ступінчатих, а й криволінійних поверхонь обертання зі схрещеними осями круга та деталі.

Список використаних джерел

1. Ящерицын П. И. Основы резания материала и режущий инструмент / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Н. И. Жигалко. – Минск : Высшая школа, 1975. – 528 с.
2. Патент №50-636 (Япония) кл. В24В 53/100 Способ правки шлифовального круга / Тоеда Коки К. К., 1976.
3. Авторское свидетельство № 1234163 (СРСР), кл. В24В 5/04 Способ круглого шлифования с продольной подачей / Кальченко В. И., 1984.
4. Кальченко В. И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента : дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Кальченко. – Х. : ХГПУ, 1994. – 329 с.
5. Quickpoint. Flexible high-performance grinding machine: [Журнал фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: MaschinenfabricGmbh, Junkerstraße 2. – Nordrash, Germany, 2015. – Октябрь. – 12 р.
6. Єрошенко А. М. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола / А. М. Єрошенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник – Чернігів : ЧДТУ, 2008. – Вип. 35. – С. 5–24.
7. 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.
8. Сіра Н. М. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного вала і абразивного круга / Н. М. Сіра // Технічні науки та технології. – 2016. – № 3 (5). – С. 67–75.
9. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 232 с.
10. 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.
11. Кальченко В. И. Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Сверхтвердые материалы. – К. : Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – № 2 (196). – С. 58–73.
12. Високопродуктивне шліфування / О. В. Якімов, Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков, О. О. Якімов – К. : ІСДО, 1995. – 180 с.

References

1. Yashcherytsyn, P.I., Eremenko, M.L. & Zhigalko, N.I. (1975). *Osnovy rezaniia materiala i rezhushchii instrument [Fundamentals of cutting material and the cutting tool]*. Minsk: Vysheishaia 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. Kalchenko, V.V. (2006). *Naukovi osnovy efektyvnoho shlifuvannia zi skreshchenymy osiamy abrazyvnoho instrumentu ta detali [Scientific bases of effective cross-axes grinding abrasive tools and detail]*. Doctor's thesis. Kharkiv: NTU «KPI» (in Ukrainian).
5. Quickpoint. Flexible high-performance grinding machine. (2015, October). Zhurnal firmy «Junkermaschinen» – Junkermaschinen company magazine (Germany).
6. Yeroshenko, A.M. (2008). *Teoretychni ta eksperymentalni doslidzhennia protsesu shlifuvannia zi skreshchenymy osiamy instrumenta i detali z profilem u vyhliadi duhy kola [Theoretical and experimental researches of the grinding process with crossed axes of the tool and workpiece with a profile in the form of a circular arc]* *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu: zbirnyk – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, vol. 35, pp. 5–24.
7. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. & Sira N.M. (2016). *Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, procesiv zniattia pryusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi shreshchenymy osiamy*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

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).

8. Sira, N.M. (2016). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesiv zniattia pryusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy tsylindrychnoho vala i abrazivnoho kruha [Modular 3D-modeling tools, processes of stock removal and shaping in grinding with crossed axes of cylindrical shaft and abrasive wheel] *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, no. 3 (5), pp. 67–75 (in Ukrainian).

9. Novoselov, Iu. K. (1979). *Dinamika formoobrazovaniia poverkhnosti pri abrazivnoi obrabotke [The dynamics of surfaces shaping at abrasive processing]*. Saratov: Izdatestvo Saratovskogo universiteta (in Russian).

10. 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).

11. Kalchenko, V.I., Pogiba, N.N. & Kalchenko, D.V. (2012). Opredelenie sostavliaiushchikh sily rezaniia pri glubinnom shlifovanii poverkhnosti vrashcheniia orientirovannym elborovym krugom [Determining cutting forces components in deep grinding of revolution surfaces oriented el'bor wheel]. *Sverkhverdnye materialy – Journal of Superhard Materials*, no. 2 (196), pp. 58–73 (in Russian).

12. Yakimov, O.V., Novikov F.V., Novikov, H.V. & Yakimov O.O. (1995). *Vysokoproduktyvne shlifuvannia [High-performance grinding]* Kyiv : ISDO (in Ukrainian).

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 Віталій Іванович – 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 Road Transport and Industrial Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kalchenkovi@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9850-7875>

ResearcherID: G-9477-2014

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 in Scientific and Pedagogical Work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkalchenko74@gmail.com

Єрошенко Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ерошенко Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Yeroshenko Andriy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: yeroshenkoam@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-9516>

Researcher ID: G-6757-2014

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

Серая Наталья 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 621.923.9:62-253.5

*Наталья Гончар, Дмитрий Степанов, Марк Кучугуров***ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ОПЕРАЦИИ
ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ КРОМОК ХВОСТОВИКОВ ЛОПАТОК ГТД***Наталья Гончар, Дмитро Степанов, Марк Кучугуров***ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВАРІАНТА ОПЕРАЦІЇ ФІНІШНОЇ
ОБРОБКИ КРОМОК ХВОСТОВИКІВ ЛОПАТОК ГТД***Natalia Honchar, Dmitriy Stepanov, Mark Kuchugurov***ECONOMIC SUBSTANTIATION OF CHOOSING OF SHANK OF GTE BLADES
EDGES FINISHING**

Статья посвящена минимизации доли ручного труда при удалении заусенцев и скруглении острых кромок сложнопрофильных тонкостенных деталей газотурбинных двигателей на примере «елочного» хвостовика лопатки турбины ГТД. Предложено три варианта механизированного выполнения этой операции с применением щеточных полимерно-абразивных инструментов и различного сопутствующего оборудования и оснастки, проведен экономический анализ предложенных вариантов и экономическое обоснование выбора наиболее рационального варианта.

Ключевые слова: заусенец, кромка, сложный (криволинейный) профиль, «елочный» хвостовик, полимерно-абразивный инструмент, экономическое обоснование.

Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 12.

Стаття присвячена мінімізації частки ручної праці у процесі зняття задирок та заокруглення гострих крайок складнопрофільних тонкостінних деталей газотурбінних двигунів на прикладі «ялинкового» хвостовика лопатки турбіни ГТД. Запропоновано три варіанти механізованого виконання цієї операції з застосуванням щіткового полімерно-абразивного інструменту та різного супутнього обладнання й оснащення, проведено економічний аналіз запропонованих варіантів та економічне обґрунтування вибору найбільш раціонального варіанта.

Ключові слова: задирка, крайка, складний (криволінійний) профіль, «ялинковий» хвостовик, полімерно-абразивний інструмент, економічне обґрунтування.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 12.

The article focuses on minimization of manual labor in deburring and in rounding sharp edges operations of complex thin-walled details of gas turbine engines in example of "herringbone" shank turbine blades. Three variants of mechanized implementation of this operations using brush polymer-abrasive tool and additional related equipment are proposed. The economic analysis of proposed variants and economic substantiation of the choice of the most rational one were made.

Key words: burr, edge, complex (curvilinear) profile, «herringbone» shank, polymer-abrasive tool, economic substantiation.

Fig.: 3. Tabl.: 1. Bibl.: 12.

Постановка проблемы. Надежность работы газотурбинных двигателей (ГТД) непосредственно зависит от качества каждой детали, особенно деталей ответственных, несущих разнообразный спектр нагрузок. Поэтому особое внимание уделяется операциям финишного этапа изготовления деталей ГТД, обеспечивающего необходимое качество их поверхностей. Как известно, большинство деталей ГТД являются сложнопрофильными и тонкостенными, что сильно сужает разнообразие финишных методов и затрудняет, а иногда делает невозможным полную или частичную автоматизацию процесса отделочной и слесарной обработки. Например, довольно трудоемким процессом является удаление заусенцев после формообразующих операций протягивания, фрезерования или шлифования на острых кромках сложного профиля, таких как «елочные» хвостовики лопаток турбины, выполняемые преимущественно вручную. Уменьшение доли ручного труда на этих операциях является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализу широко распространенных методов финишной обработки и поиску малоизвестных, новых методов и инструментов для финишного этапа изготовления деталей ГТД, учитывая их сложный профиль, тонкостенность и различные габариты, посвящены работы [1; 2]. Опираясь на многочисленные публикации и исследования, мы обращаем особое внимание на щеточные инструменты на основе полимерно-абразивных волокон, которые представляют серьезную альтернативу существующим методам.

Эти инструменты, несмотря на свою относительную новизну, находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Высокая эффективность

работы полимерно-абразивных инструментов (ПАИ) достигается благодаря твердым и острым граням абразивных зерен, равномерно распределенных в массе очень гибкого и прочного волокна типа полиамид, которое в свою очередь закреплено в ступице, образуя щеточный инструмент вращательного действия.

ПАИ демонстрируют еще одно преимущество, до настоящего времени пока недостаточно полно используемое, позволяющее автоматизировать операции удаления заусенцев кромок сложнопрофильных деталей: отсутствие необходимости в точном совпадении инструмента и обрабатываемых поверхностей. При использовании негибких типов инструментов требуется точное позиционирование. В случае обработки деталей сложной формы необходимо обеспечить множество движений при точной последовательности и позиционировании, что делает автоматизацию процесса технически или экономически неприемлемой. При использовании для удаления заусенцев ПАИ в значительной степени снижаются требования к точности взаимного расположения детали и инструмента, уменьшается сложность движений. Эти факторы снижают стоимость автоматических устройств, их программирования и технического обслуживания для удаления заусенцев.

Если для мелкогабаритных лопаток можно применить виброгалтовку, то доля ручного труда в обработке хвостовиков типа «елка» средне- и крупногабаритных лопаток достаточно велика.

Применение ПАИ значительно упрощает и облегчает процесс удаления заусенцев и скругления острых кромок заданным радиусом скругления.

Выделение не исследованных ранее частей общей проблемы. Недавние исследования и публикации показали возможность обработки кромок сложного профиля дисков ГТД [3; 4], других деталей [5–10]; были определены рациональные режимы обработки ПАИ кромок с заусенцами для труднообрабатываемых лопаточных сплавов [11], разработана методика контроля полученных радиусов скругления [12]. Нерешенной осталась задача непосредственной обработки кромок «елочного» хвостовика лопаток турбины с помощью ПАИ в производственных условиях.

Цель статьи. Цель данной работы – предложить несколько вариантов выполнения с помощью ПАИ операции удаления заусенцев и скругления острых кромок хвостовика с использованием различного оборудования и оснастки, и, учитывая все нюансы производства, посредством экономического обоснования определить рациональный вариант.

Изложение основного материала. В работе рассматривается 4 варианта выполнения данной операции для хвостовиков рабочих лопаток турбины (рис. 1) из сплава ЭИ437-ВД.

I вариант. Обработка вручную на шлифовальной установке по действующей технологии.

II вариант. На установке с поворотным столом (рис. 2) и специальными накладками (установочными элементами), которые позволяют выставить хвостовик лопатки под определенным углом. Работают два ПАИ одновременно, вращаются в противоположных направлениях.

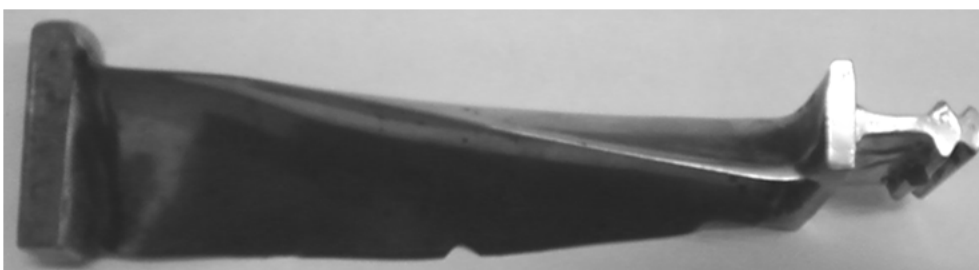


Рис. 1. Среднегабаритная лопатка турбины

III вариант. Та же установка с поворотным столом и двумя ПАИ. Лопатки устанавливаются в специальный монтажный (или «ложный») диск, оставляя свободными кромки, обрабатывается сразу весь набор лопаток.

IV вариант. Кассетное приспособление с накладками (рис. 3), установленное на универсальный плоскошлифовальный станок. ПАИ установлен в шпинделе станка.

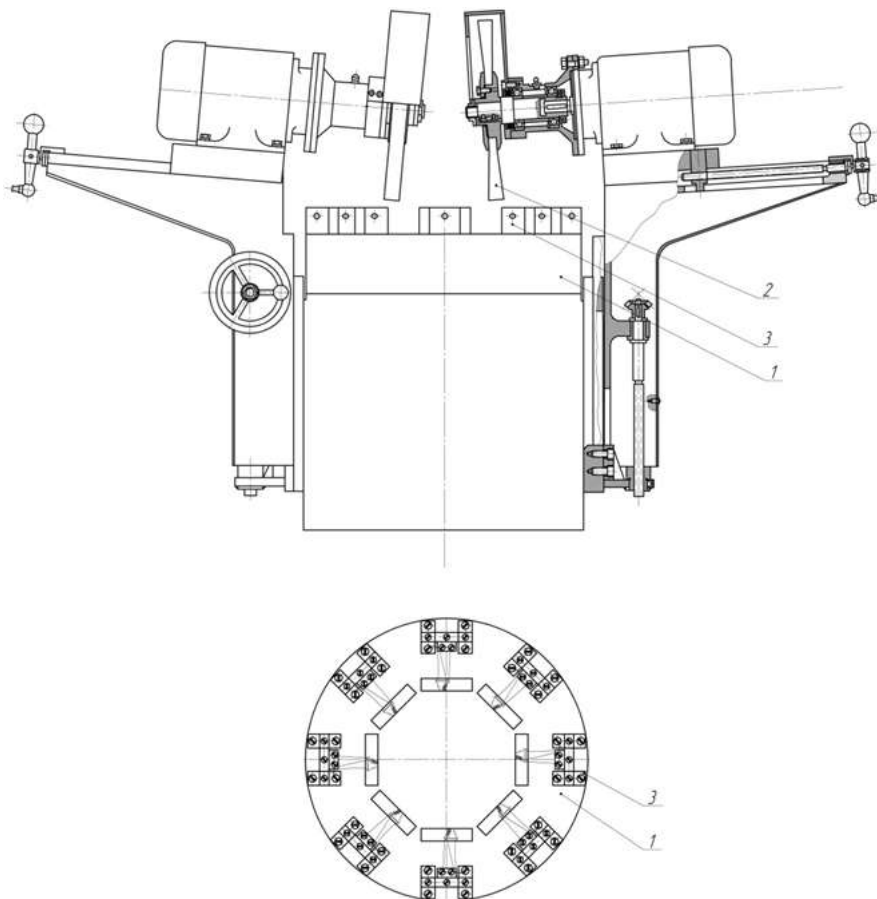


Рис. 2. Схема установки с поворотным столом:

1 – круглый стол; 2 – полимерно-абразивный инструмент; 3 – установочный элемент с лопаткой 1

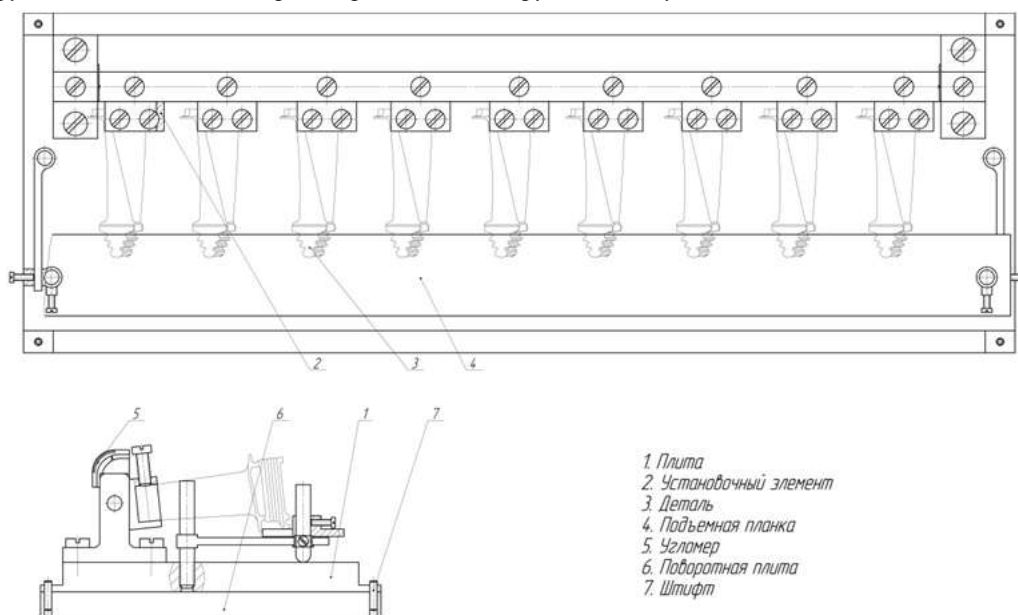


Рис. 3. Схема приспособления для плоскошлифовального станка

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Общие исходные данные:

- набор лопаток данной ступени $N=42$ шт.;
- количество проходов ПАИ $n=5$ дв.х.;
- продольная подача ПАИ $S=1$ м/мин.

Условие оптимальности варианта технологической операции:

$$C = \min(C_1; C_2; C_3; C_4), \quad (1)$$

где $C_1 \dots C_4$ – себестоимости финишной обработки лопатки каждым из вариантов.

Себестоимость изготовления детали рассчитывается по формуле:

$$C_i = 3 + H + A + \text{Э} + И + П + Ж + O, \quad (2)$$

где 3 – заработная плата рабочего, грн;

H – начисления, составляющие 39,5 % от заработной платы, грн;

A – амортизационные отчисления, составляют 20 % от заработной платы, грн;

Э – затраты на электроэнергию, грн;

$И$ – затраты на инструмент, грн;

$П$ – расходы на переточку/правку инструмента, грн;

$Ж$ – расходы на СОТС, грн;

O – стоимость установки в пересчете на одну деталь, грн.

Заработная плата рабочего:

$$3 = C_T \cdot t_{um} / 60, \quad (3)$$

где C_T – часовая ставка работника, грн/ч; для ручной обработки на шлифовальной бабке рабочему 7-го разряда 7,4 грн/ч; для обработки на установке слесарю 3-го разряда – 5,09 грн/ч;

t_{um} – штучное время, мин, рассчитывается по формуле:

$$t_{um} = t_o + t_g + t_{np}, \text{ мин}, \quad (4)$$

где t_o – основное время, затрачиваемое непосредственно на обработку, мин;

t_g – вспомогательное время, затрачиваемое на установку, переустановку и снятие обрабатываемых деталей и вспомогательной оснастки, мин;

t_{np} – прибавочное время, мин, принимается укрупненно 10 % от суммы основного и вспомогательного времени.

Минимальное основное время для ручной обработки одной лопатки 12 мин. Для механизированной операции рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{\pi \cdot D}{1000 \cdot S} \cdot z \cdot p \cdot n / N, \text{ мин}, \quad (5)$$

где z – количество запусков установки для обработки всего набора деталей, зависит от числа одновременно обрабатываемых изделий; для вариантов обработки 2...4 равно соответственно 6, 1, 5;

p – число обрабатываемых поверхностей, равно 4.

Вспомогательное время t_g в зависимости от варианта обработки рассчитывается по разному. Для варианта 1 принимается равным 3 мин. Для варианта 2 и 4 рассчитывается по формуле (6), для варианта 3 по формуле (7).

$$t_g = t_y + q \cdot t_n + t_c, \text{ мин}, \quad (6)$$

где t_y – время установки детали в наладке, принимается 0,17 мин;

t_n – время перестановки детали в наладке, равно 0,12 мин;

t_c – время снятия детали с наладки, равно 0,17 мин;

$q = 3$ – число переустановок детали в процессе обработки.

$$t_g = ((t_y + t_n + t_c) \cdot N + t_{dy} + t_{dc}) \cdot 2 / N, \text{ мин}, \quad (7)$$

где $t_{dy} = 1 \text{ мин}$ – время установки монтажного диска;

$t_{dc} = 1 \text{ мин}$ – время снятия монтажного диска.

Для варианта 3 время установки, переустановки и снятия детали принимаются 0,05 мин.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = P_{\Sigma} \cdot t \cdot \mathcal{E}_{CT}, \quad (8)$$

где \mathcal{E}_{CT} – стоимость электроэнергии на производстве, составляет 0,33 грн/кВт;

P_{Σ} – суммарная мощность применяемого электрооборудования; с учетом количества двигателей установок и расчетной мощности 0,5 кВт на единицу для вариантов обработки 1...4 принимается соответственно 2 кВт, 1,5 кВт, 1,5 кВт, 0,5 кВт.

Стоимость инструмента I , учитываемая в себестоимости детали, определяется его видом и количеством, достаточным для выполнения обработки. Для ручного труда и механизированной обработки данная стоимость рассчитывается по формуле:

$$I = C_{II} \cdot K_d / (N \cdot V), \text{ грн}, \quad (9)$$

где C_{II} – стоимость одного инструмента; стоимость шлифовального круга для ручной обработки равна 250 грн; стоимость одного ПАИ составляет 200 грн;

K_d – число инструментов на набор деталей; для вариантов обработки 1...4 соответственно равно 4, 2, 2, 1;

V – число наборов, обрабатываемых на данном оборудовании в год; для вариантов обработки 1...4 принимается соответственно 100, 200, 200, 50.

Расходы на переточку/правку инструмента Π определяются затратами на восстановление режущих (обрабатывающих) свойств инструмента, для ручной и механизированной обработки определяются по формуле:

$$\Pi = \Pi_p \cdot K_{IP} \cdot K_d, \text{ грн}, \quad (10)$$

где Π_p – стоимость правки инструмента; на производстве стоимость правки шлифовального круга равна 20 грн, стоимость правки ПАИ равна 5 грн;

K_{IP} – число правок на одну деталь; для всех вариантов обработки равно 0,02.

Расходы на СОТС вычисляются для механизированной операции, хотя обработка ПАИ на рациональных режимах не требует обязательного его применения.

$$Ж = C_{Ж} \cdot O_{Ж} / 1000, \text{ грн}, \quad (11)$$

где $C_{Ж}$ – стоимость 1л СОТС, составляет 55 грн/л;

$O_{Ж}$ – объем СОТС, требуемый для обработки одной детали (35 мл).

Стоимость установки в пересчете на одну деталь O зависит от ее конфигурации и рассчитывается по формуле:

$$O = (O_{CT} + O_{CV}) / (N \cdot V), \text{ грн}, \quad (12)$$

где O_{CT} – стоимость стационарной установки, грн;

O_{CV} – стоимость съемных узлов, грн.

При обработке вручную используется специальная шлифовальная установка, стоимость которой принимается равной 3000 грн. Стоимость круглого стола составляет

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3000 грн. При обработке на круглом столе с использованием монтажных дисков стоимость последних (250 грн за 1 диск) на один набор лопаток, т.к. для каждого набора изготавливаются новые диски с определенной геометрией. При обработке на плоскошлифовальном станке стоимость приспособления составляет 250 грн.

Полученные результаты сведены в табл.

Таблица

К расчету экономической эффективности варианта операции

Параметр	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар.4
Исходные данные:				
Набор лопаток N, шт		42		
Диаметр обработки на вращающемся столе D, мм		600		
Величина продольной подачи S, м/мин		1		
Количество дв. ходов или оборотов стола		5		
Вспомогательные величины				
Ставка рабочего 7-го / слесаря 5-го разряда Ст, грн/ч	7,40	5,09	5,09	5,09
Число обрабатываемых лопаток за одну установку	-	8	42	9
Обрабатываемых поверхностей, p	4	4	4	4
Количество проходов (фактических), n	-	5	5	5
Число запусков установки для обработки всего набора, z	-	6	1	5
Основное время обработки t_0 , мин	12,00	5,39	0,90	4,49
Время установки одной лопатки t_y , мин	-	0,17	0,05	0,17
Время переустановки одной лопатки t_n , мин	-	0,12	0,05	0,12
Время снятия одной лопатки t_c , мин	-	0,17	0,05	0,17
Время установки монтажного диска $t_{дв}$, мин	-	-	1,00	-
Время снятия монтажного диска t_c , мин	-	-	1,00	-
Вспомогательное время $t_в$, мин	3,00	0,68	0,40	0,68
Прибавочное время $t_{пр}$, мин	1,50	0,61	0,13	0,52
Штучное время $t_{шт}$, мин	16,50	6,68	1,42	5,69
Процент амортизации A, %	20	20	20	20
Суммарная мощность электродвигателей P_{Σ} , кВт	2	1,5	1,5	0,5
Стоимость электроэнергии $\mathcal{E}_{ст}$, грн/кВт	0,33	0,33	0,33	0,33
Стоимость шлифовального круга для ручной обработки $\mathcal{C}_{и}$, грн	250	-	-	-
Стоимость одного ПАИ $\mathcal{C}_{и}$, грн	-	200	200	200
Количество инструментов в обработке $K_{д}$, шт.	4	2	2	1
Стоимость правки шлифовального круга $P_{р}$, грн	20	-	-	-
Стоимость правки ПАИ $P_{р}$, грн	-	5	5	5
Число правок инструмента на одну деталь $K_{пр}$, шт.	0,02	0,02	0,02	0,02
Стоимость 1 л СОТС $\mathcal{C}_{ж}$, грн/л	-	55	55	55
Количество СОТС на 1 деталь $O_{ж}$, мл	-	35	35	35
Стоимость установки $O_{ст}$, грн	3000	3000	3000	250
Стоимость съемных узлов $O_{св}$, грн			500	
Стоимость монтажного диска, грн	-	-	250	-
Количество монтажных дисков для установки, шт.	-	-	2	-
Число наборов, обрабатываемых установкой V, шт.	100	200	200	50
Нормы расходов (на 1 деталь)				
1. Заработная плата З, грн	2,04	0,57	0,12	0,48
2. Начисления на ЗП (39,5%) Н, грн	0,80	0,22	0,05	0,19
3. Амортизация А, грн	0,41	0,11	0,02	0,10
4. Затраты на электроэнергию Э, грн	7,92	2,67	0,44	0,74
5. Стоимость инструмента И, грн	0,24	0,05	0,05	0,10
6. Расходы на переточку/правку П, грн	1,60	0,20	0,20	0,10
7. Использование СОТС Ж, грн	-	1,93	1,93	1,93
8. Стоимость установки на 1 деталь О, грн	0,71	0,36	12,26	0,12
Общая норма расходов на 1 лопатку С, грн	13,72	6,10	15,07	3,75
Общая норма расходов на набор лопаток $\mathcal{C}_{н}$, грн	576,16	256,15	632,99	157,48

Приближенный расчет экономической эффективности применения различных вариантов выполнения данной финишной операции, в пересчете на 1 лопатку, показал следующее. Применяя механизированную установку и приспособление (варианты 2 и 4), время обработки можно сократить в 2...3 раза по сравнению с ручной операцией, а в случае применения монтажных дисков (вариант 3) – более чем в 10 раз.

Себестоимость механизированной операции по 2-му варианту в 2 раза меньше выполняемой вручную, а по 4-му варианту – почти в 4 раза. В 3-м варианте стоимость изготовления монтажных дисков превышает эффект от сокращения продолжительности операции.

Вариант 4 с кассетным приспособлением для плоскошлифовального станка можно принять наиболее выгодным.

Так как конструкция предлагаемых наладок универсальна, их можно применять для различных лопаток турбин и обеспечить полную загрузку оборудования.

Выводы. В результате проведенных исследований обработки полимерно-абразивным инструментом острых кромок хвостовиков лопаток из жаропрочного сплава ЭИ437Б-ВД можно сделать следующие выводы:

- применение ПАИ дает возможность механизировать и автоматизировать операции по удалению заусенцев и острых кромок сложных пространственных форм;
- предложенные конструкции установок и приспособлений (варианты 2-4) позволят практически избавиться от ручного труда при обработке кромок «елочных» хвостовиков лопаток, сократить продолжительность операции в 2...10 раз с определенной экономической эффективностью.

Список используемых источников

1. Степанов Д. Н. Финишная обработка тонкостенных и сложнопрофильных деталей. Сообщение 1. Анализ финишно-отделочных методов / Д. Н. Степанов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2015. – № 2. – С. 122–125.
2. Степанов Д. Н. Финишная обработка тонкостенных и сложнопрофильных деталей. Сообщение 2. Щеточные инструменты на основе полимерно-абразивных волокон / Д. Н. Степанов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2015. – № 2. – С. 126–132.
3. Применение полимерно-абразивных инструментов для обработки острых кромок пазов типа «ласточкин хвост» / Ю. М. Внуков, Н. В. Гончар, Э. В. Кондратюк, Д. М. Степанов // Резание и инструмент в технологических системах. – 2011. – № 79. – С. 14–24.
4. Патент 79066 (РФ). Установка для скругления острых кромок пазов дисков турбины газотурбинного двигателя / Заколоткин В. В., Виноградов А. В. ; патентообладатель открытое акционерное общество «Пермский моторный завод». – № 2008126653/22 ; заявл. 30.06.2008 ; опубл. 20.12.2008.
5. Проволоцкий А. Е. Технологические возможности полимер-абразивного инструмента / А. Е. Проволоцкий, С. Л. Негруб // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: машинобудування. – 2004. – № 71, вип. 1. – С. 125–133.
6. Применение полимерно-абразивных инструментов для слесарной обработки торцевых поверхностей зубьев конических зубчатых колес / Д. Н. Степанов, М. В. Кучугуров, Е. А. Гончар, Е. С. Дядя // Тезисы докладов X Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок» (23–28 сентября 2013 г., Алушта). – Запорожье : АО Мотор Сич, 2013. – С. 92–94.
7. Трошин Ф. В. Некоторые особенности применения щеток из полимерно-абразивного ворса / Ф. В. Трошин // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 8. – С. 35.
8. Яковлев Д. Р. Теоретическое и экспериментальное исследование технологических возможностей абразивно-полимерных щеток с определением эффективных областей их использования / Д. Р. Яковлев // Материалы международной научно-технической конференции «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров» (17 ноября 2010, Москва). – М. : МГТУ, 2010. – С. 293–299.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. Устинович Д. Ф. Моделирование тепловых процессов при обработке тел вращения полимерно-абразивными щетками / Д. Ф. Устинович, В. М. Голуб // Вестник национальной академии наук Беларуси. – 2011. – № 2. – С. 62–68.

10. Степанов Д. М. Комплексна фінішна обробка аеродинамічних поверхонь лопаток полімерно-абразивними інструментами / Д. М. Степанов // Тези доповідей XV Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (4-7 листопада 2015р., Житомир). – Житомир : ЖДТУ, 2015. – С. 76–78.

11. Гончар Н. В. Формирование радиуса скругления острых кромок сложных пространственных форм при помощи полимерно-абразивного инструмента / Н. В. Гончар, Э. В. Кондратиук, Д. Н. Степанов // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2014. – № 2 (41). – С. 178–183.

12. Методика контролю качества выполнения радиусов скругления кромок / Д. Н. Степанов, Н. В. Гончар, В. О. Щекин, М. В. Зинченко // Тезисы докладов X Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок» (23-28 сентября 2013 г., Алушта). – Запорожье : АО Мотор Сич, 2013. – С. 95–96.

References

1. Stepanov, D.N. (2015). Finishnaia obrabotka tonkostennykh i slozhnoprofilnykh detalei. Soobshchenie 1. Analiz finishno-otdelochnykh metodov [Finishing of thin-walled and complex profile parts. Report 1. Analysis of the finishing techniques]. *Novi materialy tekhnologii v metalurgii ta mashynobuduvanni – New materials and technologies in metallurgy and engineering*, no. 4, pp. 122–125 (in Russian).

2. Stepanov, D.N. (2015). Finishnaia obrabotka tonkostennykh i slozhnoprofilnykh detalei. Soobshchenie 2. Shchetochnye instrumenty na osnove polimerno-abrazivnykh volokon [Finishing of thin-walled and complex profile parts. Report 2. Brush tools based on polymer-abrasive fibers]. *Novi materialy tekhnologii v metalurgii ta mashynobuduvanni – New materials and technologies in metallurgy and engineering*, no. 2, pp. 126–132 (in Russian).

3. Vnukov, Iu.N., Gonchar, N.V., Kondratiuk, E.V., Stepanov, D.M. (2011). Primenenie polimerno-abrazivnykh instrumentov dlia obrabotki ostrykh kromok pazov tipa “lastochkin khvost” [The using of polymer-abrasive tools for processing sharp edges of “dovetail” grooves] *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tool in technological systems*, no. 79, pp. 14–24 (in Russian).

4. Zakolodkin, V.V., Vinogradov, A.V. (2008). Ustanovka dlia skrugleniia ostrykh kromok pazov diskov turbiny gazoturbinnogo dvigatelja [Equipment for rounding sharp edges of the grooves of turbine disks of gas turbine engine]. Patent RF No. 79066.

5. Provolotkii, A.E., Negrub, S.L. (2004). Tekhnologicheskie vozmozhnosti polimer-abrazivnogo instrumenta [Technological possibilities of polymer-abrasive tool] *Naukovi pratsi Donetckoho nacionalnoho tekhnichnoho universytetu, Seriiia mashynoobladdnannia*, vol. 1, no. 71, pp. 125–133 (in Russian).

6. Stepanov, D.N., Kuchugurov, M.V., Gonchar, E.A., Diadia, E.S. (2013). Primenenie polimerno-abrazivnykh instrumentov dlia slesarnoi obrabotki tortcevykh poverkhnostei zubev konicheskikh zubchatykh koles [The using of polymer-abrasive tools for metalwork machining of end surfaces of the bevel gear teeth] *Proceedings from X Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia “Progresivnye tekhnologii zhiznenogo tsikla aviatcionnykh dvigatelei i energeticheskikh ustanovok” – 10 th International scientific and technical conference “Progressive technologies of aircraft engines lifecycle and energetic systems” (Ukraine, Alushta, September 23-28, 2013)*. Zaporizhzhya: MOTOR SICH JSC, pp. 92–94 (in Russian).

7. Troshin, F.V. (2008). Nekotorye osobennosti primeneniia shchetok iz polimerno-abrazivnogo vorsa [Some features of the using of the brushes from the polymer-abrasive fibers]. *Avtomobilnaia promyshlennost – Automotive industry*, no. 8, p. 35 (in Russian).

8. Iakovlev, D.R. (2010). Teoreticheskoe i eksperimentalnoe issledovanie tekhnologicheskikh vozmozhnostei abrazivno-polimernykh shchetok s opredeleniem effektivnykh oblastei ikh ispolzovaniia [Theoretical and experimental research of technological possibilities of the abrasive-polymer brushes to determine the effectiveness of their using]. *Proceedings from Mezhdunarodnaia*

nauchno-tehnicheskaiia konferentciia "Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiia i podgotovka kadrov" – International scientific and technical conference "Automotive and tractor construction in Russia: priorities of development and training" (Russia, Moscow, November 17, 2010). Moscow: MGTU, pp. 293–299 (in Russian).

9. Ustinovich, D.F., Golub, V.M. (2011). Modelirovanie teplovykh protsessov pri obrabotke tel vrashcheniia polimerno-abrazivnymi shchetkami [Simulation of thermal processes in the processing of rotating bodies with polymer-abrasive brushes]. *Vestnik natsionalnoi akademii nauk Belarusi – Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus*, no. 2, pp. 62–68 (in Russian).

10. Stepanov, D.M. (2015). Kompleksna finishna obrobka aerodinamichnikh poverkhon lopatok polimerno-abrazivnymi instrumentami [Complex finishing of the blades aerodynamic surfaces with polymer-abrasive tools] Proceedings from *XV Vseukrainska molodizhna naukovo-tehnichna konferentciia. Mashinobuduvannia Ukrainy ochyma molodykh: progresyvni idei – nauka – vyrobnytstvo – 15 th Ukrainian Youth Scientific and Technical Conference. Ukraine engineering through the youth vision: progressive ideas – science – production* (Ukraine, Zhitomir, November 4–7, 2015). Zhitomir: ZhDTU, pp. 76–78 (in Ukrainian).

11. Gonchar, N.V., Kondratiuk, E.V., Stepanov, D.N. (2014). Formirovanie radiusa skrugleniia ostrykh kromok slozhnykh prostranstvennykh form pri pomoshchi polimerno-abrazivnogo instrumenta [Formation of the rounding radius of sharp complex-profile edges with polymer-abrasive tool]. *Zbirnik naukovekh prac: haluzeve mashinobuduvannia i budivnytstvo – Collection of scientific papers: Branch engineering, construction*, no. 2 (41), pp.178–183 (in Russian).

12. Stepanov, D.N., Gonchar, N.V., Shchekin, V.O., Zinchenko, M.V. (2013). Metodika kontroliia kachestva vypolneniia radiusov skrugleniia kromok [Quality control methods of the rounding radii of the edges]. Proceedings from *X Mezhdunarodnaia nauchno-tehnicheskaiia konferentciia "Progresivnye tekhnologii zhizneno go tsikla aviatcionnykh dvigatelei i energeticheskikh ustanovok" – 10 th International scientific and technical conference "Progressive technologies of aircraft engines lifecycle and energetic systems"* (Ukraine, Alushta, September 23–28, 2013). Zaporizhzhya: MOTOR SICH JSC, pp. 95–96.

Гончар Наталья Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технология машиностроения, Запорожский национальный технический университет (ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина).

Гончар Наталя Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування, Запорізький національний технічний університет (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна)

Honchar Natalia – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor of Machine Building Technology Department, Zaporizhzhya National Technical University (64 Zhukovskogo Str., 69063 Zaporizhzhya, Ukraine).

E-mail: gonchar@zntu.edu.ua

Степанов Дмитрий Николаевич – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, Запорожский национальный технический университет (ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина).

Степанов Дмитро Миколайович – старший викладач кафедри технології машинобудування, Запорізький національний технічний університет (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

Stepanov Dmitriy – Senior Lecturer of Machine Building Technology Department, Zaporizhzhya National Technical University (64 Zhukovskogo Str., 69063 Zaporizhzhya, Ukraine).

E-mail: stepanovzntu@yandex.ua

Кучугуров Марк Валерьевич – аспирант кафедры технологии машиностроения, Запорожский национальный технический университет (ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина).

Кучугуров Марк Валерійович – аспірант кафедри технології машинобудування, Запорізький національний технічний університет (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна)

Kuchugurov Mark – PhD student of Machine Building Technology Department, Zaporizhzhya National Technical University (64 Zhukovskogo Str., 69063 Zaporizhzhya, Ukraine).

E-mail: markxfx@mail.ru

Андрій Єрошенко, Андрій Палій

МОДЕЛЮВАННЯ СИЛ РІЗАННЯ В РОБОЧИХ ПРОЦЕСАХ АБРАЗИВНОГО ШЛІФУВАННЯ

Андрей Ерошенко, Андрей Палей

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ В РАБОЧИХ ПРОЦЕССАХ АБРАЗИВНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Andriy Yeroshenko, Andriy Paliy

MODELING OF CUTTING FORCES IN THE WORKING PROCESSES OF ABRASIVE GRINDING

Запропоновано математичну модель, що дозволяє розрахувати силу різання на плямі контакту абразивного круга і заготовки з урахуванням форми абразивного зерна, його розмірів, вильоту зерен зі зв'язки, відносного положення зерен на поверхні круга та глибини занурення зерен у матеріал заготовки.

Ключові слова: *робочий процес шліфування, пляма контакту абразивного круга і деталі, сили різання під час шліфування.*

Рис.: 6. Бібл.: 13.

Предложена математическая модель, позволяющая рассчитать силу резания на пятне контакта абразивного круга и заготовки с учетом формы абразивного зерна, его размеров, вылета зерен из связки, относительного положения зерен на поверхности круга и глубины погружения зерен в материал заготовки.

Ключевые слова: *робочий процес шліфування, плямо контакту абразивного круга і деталі, сили різання при шліфуванні.*

Рис.: 6. Библ.: 13.

A mathematical model to calculate the cutting force to the contact abrasion wheel and workpiece shapes incl abrasive grain, its size, grain departure of the bunch, the relative position of grains on the surface of the circle and the depth of immersion grains in the material of the workpiece.

Key words: *working process grinding, contact patch of grinding wheel and details cutting force at grinding.*

Fig.: 6. Bibl.: 13.

Постановка проблеми. Процес абразивного шліфування посідає значне місце в машинобудуванні як один з методів фінішної обробки. Під час шліфування в зоні контакту абразивного інструменту з заготовкою відбувається процес ковзання, пластичного деформування матеріалу заготовки або різання, що супроводжується виникненням значних сил. Зі збільшенням цих сил збільшується знос абразивного інструменту, скорочується період його стійкості, підвищується температура в зоні різання, що інколи призводить до тріщин і прижогів на обробленій поверхні. Це збільшує шорсткість обробленої поверхні та знижує точність обробки. Тому питання дослідження сил при абразивному шліфуванні і вплив різних чинників на їх зміну є предметом багатьох досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Модель процесу шліфування описує взаємозв'язок між вхідними та вихідними величинами. Нині для моделювання сил різання існує три підходи: статистичний, енергетичний і імітаційно-фізичний.

Статистичний підхід [12; 13] стосується шліфування як процесу різання декількома різальними кромками. Всі зерна на поверхні круга, що контактують з матеріалом заготовки, як передбачається, ріжуть при однаковій глибині різання. Загальна сила різання під час шліфування, є сумою всіх сил різання на кожному активному зерні.

Енергетичний підхід [11; 13] передбачає, що зерна, занурюючись у заготовку, будуть проходити 3 етапи: ковзання, царапання, різання залежно від глибини занурення зерна в заготовку. Таким чином, загальна споживана енергія є сумою всіх трьох етапів.

Концепція імітаційно-фізичного підходу [13], заснована на фізиці стосовно моделювання процесу шліфування. Відправною точкою такого моделювання є числовий опис властивостей круга [10], які можуть бути встановлені за допомогою вимірювання, аналітичного чи математичного моделювання. У цьому підході процес взаємодії [7; 10; 13] абразивного зерна та заготовки досліджується за допомогою методу скінченних елементів.

Сили мікрорізання одиничним зерном при алмазному шліфуванні досліджувалися науковою школою проф. А. І. Грабченка [2], а при абразивному – науковою школою проф. В. І. Кальченка [3]. Авторами роботи також проводилися дослідження процесу мікрорізання [4; 5], але відсутні математичні моделі, які можуть прогнозувати сили різання на плямі контакту абразивного круга і деталі з урахуванням форми абразивного зерна, його розмірів, вильоту зерен зі зв'язки, відносного положення зерен на поверхні круга та глибини занурення зерен у матеріал заготовки.

Серед всіх різальних інструментів абразивні є єдиними, у яких стандарти [6] не регламентують форму зерен, їх геометрію, закон розподілу зерен за формою, розмірами, положенням на робочій поверхні. Форма абразивних зерен є основою для розрахунку кількості різальних кромок, величину кутів різання та форму робочої частини зерна, у контакті з оброблюваною заготовкою. Форма та геометрія зерен складна і залишається здебільшого невизначеною.

Абразивні матеріали – це зерна різної величини і форми, які поділяють на фракції. Основною фракцією називається сукупність зерен певного розміру, що переважають у складі. Тому зернистість матеріалу визначається зернами основної фракції. Кількість можливих моделей [2] розподілу елементів робочої поверхні шліфувального круга досить велике. Вибір того чи іншого закону розподілу визначається відповідністю властивостей розподілу вимогам дослідження й адекватності опису отриманих експериментальних даних.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Слід відзначити, що існуючі на сьогодні дослідження характеризуються встановленням впливу окремих параметрів шліфувального круга на сили різання. Проте в реальних умовах на процес шліфування фактори діють одночасно, зумовлюючи коливання сил різання. В наявних літературних джерелах не виявлено варіантів розрахунку сили різання на плямі контакту круга і заготовки, з впливом форми абразивного зерна, глибини занурення зерен у матеріал заготовки, положення зерен на робочій поверхні круга та кількості зерен на плямі контакту загалом на величину сили різання.

Метою роботи є розроблення математичної моделі, яка дозволяє прогнозувати величину сил різання при взаємодії поверхні круга з матеріалом заготовки.

Виклад основного матеріалу. Як було зазначено у джерелах [1; 8; 9], форму і геометрію абразивного зерна наближують до спрощених фігур, що піддаються математичному опису для зменшення невизначеності форми і геометрії абразивного зерна.

Тому для моделювання абразивного зерна оберемо випуклий правильний багатокутник – октаедр, що зображений на рис. 1.

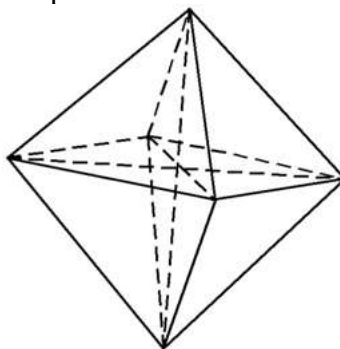


Рис. 1. Спрощена форма абразивного зерна у вигляді октаедра

Як відомо, шліфувальні матеріали поділяють за зернистістю. Номер зернистості залежить від відсоткового складу основної фракції. У стандарті [6] зазначено, що зерновий склад шліфувальних матеріалів характеризується відсотковим складом таких фракцій: граничної, крупної, основної, комплексної, дрібної.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У літературі [1; 2] було відмічено, що зерновий склад шліфувальних матеріалів може описуватись законом нормального розподілу (1).

$$N(x, \mu_x, \sigma_x) = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu_x)^2}{2 \cdot \sigma_x^2}\right), \quad (1)$$

де x – поточний розмір абразивного зерна;

μ_x – середній розмір абразивного зерна;

σ_x – середнє квадратичне відхилення розміру абразивного зерна.

Згідно зі стандартом [6] розмір абразивних зерен у складі шліфувальних матеріалів може змінюватись від x_{\min} до x_{\max} , тому відповідно до (1) ймовірність появи зерен розміром від x_{\min} до x_{\max} визначається виразом (2):

$$P(x_{\min} < x < x_{\max}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu_x)^2}{2 \cdot \sigma_x^2}\right) dx, \quad (2)$$

де x_{\min} – найменший розмір абразивного зерна;

x_{\max} – найбільший розмір абразивного зерна.

Формула (2) дозволяє розрахувати ймовірність появи зерен фракцій абразивного матеріалу, для якої відомі параметри кривої нормального розподілу.

Зовнішня поверхня круга – поверхня геометрично правильної форми, проведена через вершини найбільше виступаючих зерен у робочому шарі інструмента (рис. 2).

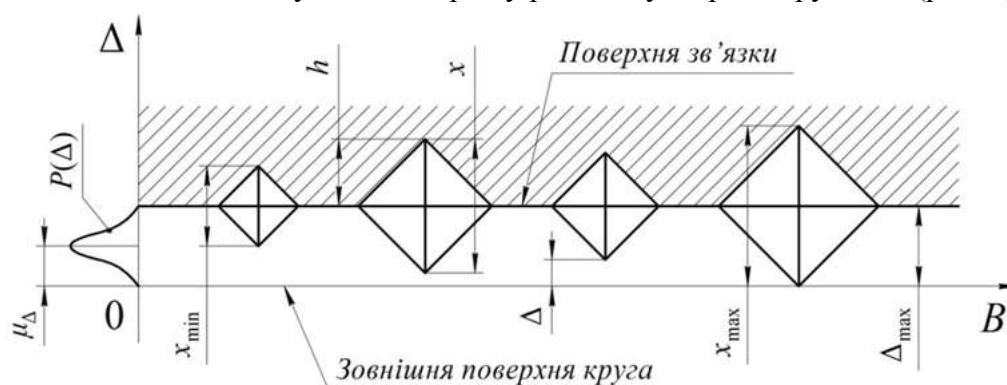


Рис. 2. Схема робочого шару шліфувального круга

Поверхня зв'язки – поверхня геометрично правильної форми, що замінює з найбільшим наближенням фактичну поверхню зв'язки в міжзерновому просторі інструмента.

Робочий шар круга – шар, що розміщений між зовнішньою поверхнею круга і поверхнею зв'язки.

Товщина робочого шару інструмента Δ_{\max} може бути визначено експериментально або орієнтовно розраховано за формулою (3) [1]:

$$\Delta_{\max} \approx x_{\max} \cdot (1 - \varepsilon) = (\mu_x + 3 \cdot \sigma_x) \cdot (1 - \varepsilon), \quad (3)$$

де ε – коефіцієнт, що враховує занурення зерен в зв'язку (4).

$$\varepsilon = \frac{h}{x}, \quad (4)$$

де h – глибина занурення зерна у зв'язку;

x – розмір абразивного зерна.

Експериментальне визначення ε проводять вимірюванням найбільших вильотів зерен у крузі (шляхом профілометрії робочої поверхні), для круга такої зернистості можемо, використовуючи формулу (3) розрахувати (5):

$$\varepsilon = 1 - \frac{\Delta_{\max}}{\mu_x + 3 \cdot \sigma_x}. \quad (5)$$

Будь-яке конкретне значення вильоту зерна Δ має випадковий характер. Тому розподілення Δ у межах від 0 до Δ_{\max} з достатньою надійністю можна описати законом нормального розподілу (6) [1]:

$$N(\Delta, \mu_\Delta, \sigma_\Delta) = \frac{1}{\sigma_\Delta \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\Delta - \mu_\Delta)^2}{2 \cdot \sigma_\Delta^2}\right) \quad (6)$$

із середньоквадратичним відхиленням (7):

$$\sigma_\Delta \approx \frac{\Delta_{\max}}{6} = \frac{1}{6} \cdot (\mu_x + 3 \cdot \sigma_x) \cdot (1 - \varepsilon) \quad (7)$$

та центром групування (8):

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_{\max}}{2} = \frac{1}{2} \cdot (\mu_x + 3 \cdot \sigma_x) \cdot (1 - \varepsilon). \quad (8)$$

Тому згідно з (6) ймовірність вильоту зерна від 0 до Δ_{\max} зі зв'язки визначається виразом (9):

$$P(0 < \Delta < \Delta_{\max}) = \int_0^{\Delta_{\max}} \frac{1}{\sigma_\Delta \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\Delta - \mu_\Delta)^2}{2 \cdot \sigma_\Delta^2}\right) d\Delta. \quad (9)$$

Абразивні зерна можуть займати будь-яке положення на робочій поверхні круга, тому для спрощення задачі, будемо розглядати лише відносно положення одних зерен стосовно інших, нехтуючи кутовими положеннями абразивного зерна (рис. 3).

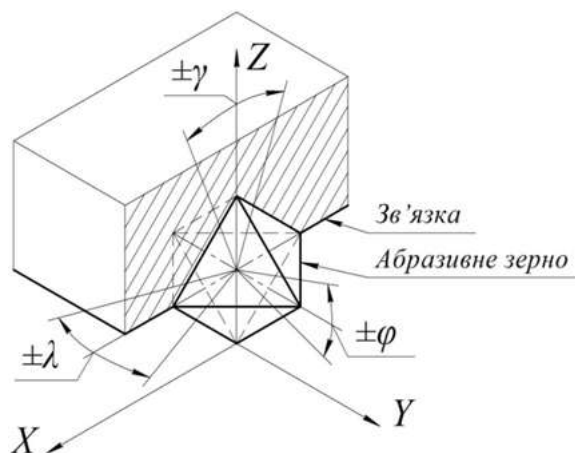


Рис. 3. Кутові положення абразивного зерна

Всі можливі положення, що можуть займати зерна, можна поділити на 3 типи:

- зерна розташовані один за одним;
- зерна з частковим перекриванням одного зерна іншим;
- зерна, що розташовані поряд.

З вищезазначеного зрозуміло, що можливі положення абразивних зерен на поверхні круга, підпорядковується двовимірному закону розподілу.

Прийемо, що положення зерен у напрямку осей OX (довжина кола L , що має діаметр D) і OY (висота B шліфувального круга) не корельовано, тоді коефіцієнт кореляції $r_{xy} = 0$.

Іншими словами, ймовірність появи зерна в певному місці на робочій поверхні шліфувального круга дорівнює добутку ймовірностей у напрямку осей OX і OY , тобто ймовірності в напрямку осей незалежні між собою.

Положення зерен на робочій поверхні круга може описуватись рівномірним законом розподілу. Двовимірний рівномірний закон розподілу з коефіцієнт кореляції $r_{xy} = 0$ має вигляд (10):

$$N(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{(L-0) \cdot (B-0)}, & \text{при } 0 < x < L, 0 < y < B \\ 0, & \text{при } (x, y) \notin ABCD \end{cases} \quad (10)$$

де $ABCD$ – прямокутник з вершинами $A(0; 0)$, $B(B; 0)$, $C(B; L)$, $D(0; L)$.

Положення абразивних зерен на робочій поверхні круга може змінюватись у напрямі осей OX (від 0 до L) і OY (від 0 до B), тому відповідно до (10) ймовірність появи зерна в певному місці на робочій поверхні шліфувального круга визначається виразом (11):

$$P(x, y) = \int_0^L \int_0^B N(x, y) dx dy. \quad (11)$$

Не всі зерна, що ми бачимо на поверхні круга, беруть участь у видаленні матеріалу заготовки. Працюють тільки ті зерна (рис. 4), які в деякий момент часу мають вильот Δ , меншу ніж товщину нерівності k на поверхні контакту, яка виникає в результаті дії попередніх зерен.

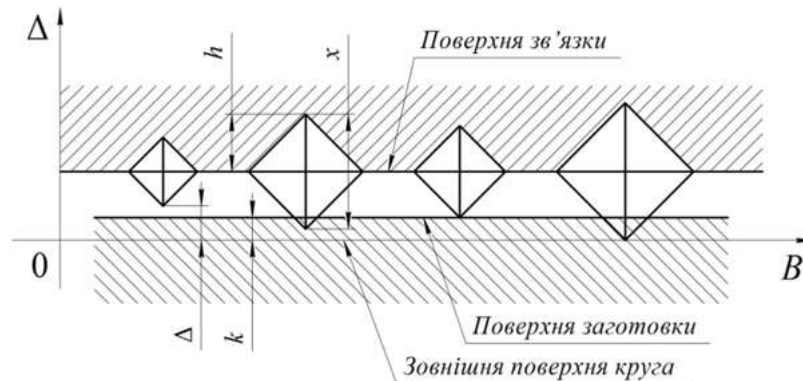


Рис. 4. Взаємодія поверхні круга з поверхнею заготовки

Величини Δ та k відраховуються від будь-якої нульової поверхні, у цьому випадку (рис. 4) відраховується від зовнішньої поверхні круга.

Поверхня заготовки – поверхня геометрично правильної форми, проведена через вершини найбільше виступаючих нерівностей на заготовці.

Таким чином, умовою для участі зерна в роботі є позитивне значення величини занурення абразивного зерна (12) у матеріал заготовки [6]:

$$a_z = k - \Delta, \quad (12)$$

де k – координата вершини нерівності матеріалу заготовки;

Δ – виліт абразивного зерна на поверхні круга.

Якщо значення a_z лежить в межах від 0 до k , то має місце взаємодія зерна з матеріалом заготовки, тому:

– при $a_z < 0$ – зерно не бере участь у роботі;

– при $a_z = 0$ – зерно ковзає по матеріалу заготовки;

– при $a_z > 0$ – зерно бере участь у роботі, пластично реформуючи або ріжучи матеріал заготовки.

У процесі різання абразивним зерном є справедливою рівність (13):

$$\frac{a_z}{\rho} > 0,1, \quad (13)$$

де a_z – величина занурення абразивного зерна в матеріал заготовки;

ρ – величина заокруглення вершини абразивного зерна.

Якщо значення рівності (13) менше 0,1 – відбувається тільки пластичне деформування, а якщо більше 0,1 – різання матеріалу заготовки абразивним зерном.

Як було зазначено раніше, абразивне зерно має деяке занурення h у зв'язку (рис. 2), що виражається коефіцієнтом ε згідно з (4) і має мати деяке критичне значення $[\varepsilon]$, що виражається виразом (14):

$$\varepsilon > [\varepsilon]. \quad (14)$$

Вираз (14) пояснюється тим, що сили, які діють на абразивне зерно під час різання, будуть намагатися вирвати це зерно зі зв'язки, тому значення коефіцієнта ε не може бути менше критичного, оскільки зерно буде вирване зі зв'язки та покине як зону різання, так і сам абразивний круг.

Для визначення сили різання, що виникає в зоні контакту абразивного круга і заготовки, нам необхідно визначити загальну кількість абразивних зерен, що знаходиться в поверхневому шарі (рис. 5) абразивного круга.

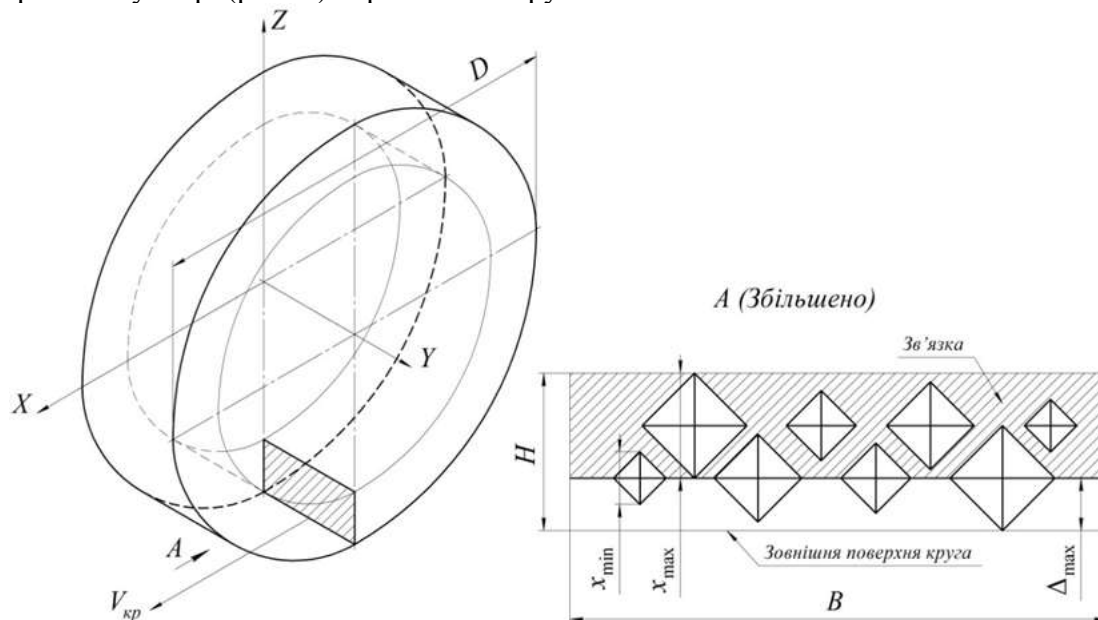


Рис. 5. Схема поверхневого шару абразивного круга

Як бачимо на рис. 5, поверхневий шар товщиною H є сумою, робочого шару Δ_{\max} та шару, що дорівнює максимальному розміру абразивного зерна у складі шліфувального матеріалу.

Внутрішній об'єм шліфувального круга характеризується – зернистістю, твердістю, структурою, а ці параметри залежать від об'ємного складу зерен, зв'язки. Ці параметри залежать від об'ємного складу зерен β_z , зв'язки $\beta_{зв}$, пор β_n в крузі (15) [3; 8]:

$$\beta_z + \beta_{зв} + \beta_n = \frac{V_z}{V_k} + \frac{V_{зв}}{V_k} + \frac{V_n}{V_k} = 1, \quad (15)$$

де V – об'єм.

Відповідно до вищезазначеного об'єм поверхневого шару абразивного круга визначаємо за формулою (16):

$$\begin{aligned} V_{\text{ш}} &= \frac{\pi \cdot D^2 \cdot B}{4} - \frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot H)^2 \cdot B}{4} = \pi \cdot B \cdot H \cdot (D - H) = \\ &= \pi \cdot B \cdot (x_{\max} + \Delta_{\max}) \cdot (D - (x_{\max} + \Delta_{\max})). \end{aligned} \quad (16)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Відносний вміст зерен, зв'язки, пор в абразивному крузі можемо визначити з [8]. Отже, загальний об'єм абразивних зерен у поверхневому шарі круга (17):

$$V_z = V_{nu} \cdot \beta_z. \quad (17)$$

Оскільки ми прийняли спрощену форму абразивного зерна у вигляді октаедра (рис. 1), то його об'єм можна визначити за формулою (18) та з урахуванням ймовірності (2), відповідно, об'єм кожного з зерен (19):

$$V = \frac{x^3}{6}; \quad (18)$$

$$V(x_{\min} < x < x_{\max}) = \frac{P(x)^3}{6}. \quad (19)$$

Тому згідно з (17) та (19) ймовірна кількість абразивних зерен в поверхневому шарі визначається виразом (20):

$$Z = \frac{V_z}{\sum_{i=x_{\min}}^{x_{\max}} V(i)}. \quad (20)$$

Зона контакту абразивного круга і заготовки характеризується площею плями, що для плоского шліфування периферією круга розраховується за формулою (21):

$$S_{zk}^{nl} = L_{nl} \cdot B, \quad (21)$$

де L_{nl} – довжина дуги контакту абразивного круга і заготовки при плоскому шліфуванні периферією круга;

B – висота абразивного круга.

Довжина дуги контакту визначається виразом (22) в межах кута контакту (23) [6]:

$$L_{nl} = \left(1 \pm \frac{V_o}{60 \cdot V_{kp}} \right) \cdot \sqrt{D \cdot t}; \quad (22)$$

$$\psi_{nl} \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D}}, \quad (23)$$

де V_o – швидкість поступального руху заготовки, м/хв;

V_{kp} – швидкість обертального руху абразивного круга;

t – глибина різання;

D – діаметр абразивного круга;

ψ_{nl} – кут контакту абразивного круга і заготовки.

Знак «+» приймається при зустрічному, а «-» при попутному напрямі руху абразивного круга і заготовки.

Отже, у зоні контакту буде деяка певна кількість n абразивних зерен, тому сили різання, визначатимуться за формулами (24) і (25) як сума сил на активних зернах:

$$P_z^{nl} = \sum_{i=1}^n F_{zi}; \quad (24)$$

$$P_y^{nl} = \sum_{i=1}^n F_{yi}; \quad (25)$$

де F_z – сила різання на одиничному активному зерні в напрямі осі OZ ;

F_y – сила різання на одиничному активному зерні в напрямі осі OY ;

n – число активних зерен у зоні контакту.

Висновки і пропозиції. Отримано математичну модель залежності сили різання на плямі контакту від обраної форми абразивного зерна, розмірів зерен, величини вильоту зерен зі зв'язки, відносного положення зерен на поверхні круга та глибини занурення зерен у матеріал заготовки. Напрямом подальших досліджень є врахування температури на кожному активному зерні та загалом на плямі контакту з наступною оптимізацією процесу шліфування.

Список використаних джерел

1. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования материалов / А. К. Байкалов. – К. : Наукова думка, 1978. – 207 с.
2. Грабченко А. И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования / А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Федорович. – Х. : НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
3. 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.
4. Ерошенко А. М. Повышение эффективности шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали с профилем в виде дуги окружности : дис. ... канд. техн. Наук : спец. 05.03.01 / Ерошенко Андрей Михайлович ; [НТУ «Харьковский политехнический институт»]. – Х., 2009. – 208 с.
5. Єрошенко А. М. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола / А. М. Єрошенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – 2008. – № 35. – С. 5–24.
6. Маслов Е. И. Теория шлифования материалов / Е. И. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.
7. Мишин В. Н. Расчетная оценка сил при шлифовании / В. Н. Мишин, В. Н. Балашов // Международная научно-техническая конференция ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – М. : МГТУ «МАМИ», 2012. – С. 115–121.
8. Островский В. И. Теоретические основы процесса шлифования / В. И. Островский. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 144 с.
9. Шавва М. А. Анализ взаимосвязи износа круга и сил резания при абразивном шлифовании / М. А. Шавва, С. В. Грубый // Наука и технологии. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 11. – С. 137–156.
10. Abdalslam Darafon Measuring and modeling of grinding wheel topography: a dissertation for the degree of doctor of philosophy / Abdalslam Darafon. – Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 2013. – 204 с.
11. Malkin S., Guo C. Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives. New York, Industrial Press Publ., 2008.
12. Tonshoff H.K., Friemuth T., Becker J.C. Process monitoring in grinding // CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2002. Vol. 51, no. 2. – Pp. 551–571.
13. Xuekun Li Modeling and simulation of grinding processes based on a virtual wheel model and microscopic interaction analysis: a dissertation for the degree of doctor of philosophy in manufacturing engineering / Xuekun Li. – Worcester polytechnic institute, 2010. – 145 с.

References

1. Baikalov, A.K. (1978). *Vvedenie v teoriiu shlifovaniia materialov [Introduction in Theory of Polishing of Materials]*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
2. Grabchenko, A.I., Dobroskok, V.L., Fedorovich, V.A. (2006). *3D modelirovanie almazno-abrazivnykh instrumentov s processov shlifovaniia [3D modeling of Tools and Polishing]*. Kharkov: KhPI (in Russian).
3. Grabchenko, A.I., Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. (2009). *Shlifovanie so skreshchivaiushchimisia osiami instrumenta i detali [Polishing with the Crossed Axes of Instrument and Detail]*. Chernigov: ChDTU (in Russian).
4. Eroshenko, A.M. (2009). *Pidvyschennya efektyvnosti shlifuvannya zi skhreschenymy osyamy instrumenta i detali z profilem u vyglyadi dugy kola [Increase of efficiency of polishing with the crossing axes of instrument and detail with a type as the arc of circumference]*. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Kharkiv: National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Yeroshenko, A.M. (2008) Teoretychni ta eksperymentalni doslidzhennia procesu shlifuvannia zi skhreshchenymy osiamy instrumenta i detali z profilem u vyglyadi dugy kola [Theoretical and Experimental Researches of Process of Polishing with the Crossed Axes of Instrument and Detail are with a Type as an Arc of Circle]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii "Tekhnichni nauky" – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical Sciences"*, no. 35, pp. 5–24 (in Ukrainian).
6. Maslov, E.I. (1974). *Teoriia shlifovaniia materialov [The Theory of Process of Polishing]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
7. Mishin, V.N. & Balashov, V.N. (2012). Raschetnaia otsenka sil pri shlifovanii [The method of determination of constituents of cutting force]. Proceedings from *Avtomobilstroenie v Rossii – Automotive in Russia*. Moscow: MGTU «MAMi», pp. 115–121 (in Russian).
8. Ostrovskiy, V.I. (1981) *Teoreticheskie osnovy processa shlifovaniia [The Theoretical of Process of Polishing]*. Leningrad: LGU (in Russian).
9. Shavva, M.A. & Grubiy, C.V. (2014). Analiz vzaimosvyazi iznosa kruga i sil rezaniya pri abrazivnom shlifovanii [Analysis of determination of constituents of cutting force]. *Nauka i Tekhnologii – SCIENCES AND TECHNOLOGIES. MGTU im. Bauman, no. 11, pp. 137–156* (in Russian).
10. Abdalislam Darafon (2013). *Measuring and modeling of grinding wheel topography: a dissertation for the degree of doctor of philosophy*. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
11. Malkin, S., Guo, C. (2008). *Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives*. New York, Industrial Press Publ. (in English).
12. Tonshoff, H.K., Friemuth, T., Becker, J.C. (2002). Process monitoring in grinding. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 51, no. 2, pp. 551–571.
13. Xuekun Li (2010). *Modeling and simulation of grinding processes based on a virtual wheel model and microscopic interaction analysis: a dissertation for the degree of doctor of philosophy in manufacturing engineering*. Worcester polytechnic institute.

Єрошенко Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ерошенко Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Yeroshenko Andriy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Wood technology, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: yeroshenkoam@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-9516>

Researcher ID: G-6757-2014

Палій Андрій Миколайович – магістрант кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Палей Андрей Николаевич – магістрант кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Paliy Andriy – master of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: robot.250.ua@mail.ru

УДК 621.923

*Андрій Рудик, Олена Следнікова, Аліна Подзолкіна, Олег Куций***ВИБІР РЕЖИМІВ ЕФЕКТИВНОГО ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ***Андрей Рудик, Елена Следникова, Алина Подзолкина, Олег Куций***ВЫБОР РЕЖИМОВ ЭФФЕКТИВНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ВРАЩЕНИЯ***Andriy Rudyk, Olena Sliednikova, Alina Podzolkina, Oleg Kutsiy***SELECTION MODES FOR EFFECTIVE GRINDING SURFACE ROTATION**

Проведено порівняльний аналіз широко використовуваних методів шліфування, таких як метод врізання та глибинне шліфування, з метою напрацювання рекомендацій щодо вибору режимів. Продуктивний спосіб обробки – врізне шліфування, застосовують у процесі оброблення жорстких заготовок у тих випадках, коли ширина шліфованої ділянки може бути перекрита шириною шліфувального круга. Глибинне шліфування дозволяє за один робочий хід зняти шар матеріалу на всю необхідну глибину. Досліджена ефективність шліфування режимів для нових перспективних методів обробки та максимальне використання різальної здатності інструмента.

Ключові слова: метод глибинного шліфування, метод врізного шліфування, питома продуктивність, припуск, пляма контакту.

Рис.: 1. Табл.: 3. Бібл.: 7.

Проведен сравнительный анализ широко используемых методов шлифования, таких как метод врезания и глубинное шлифование, с целью наработки рекомендаций по выбору режимов. Продуктивный способ обработки – врезное шлифование, применяют при обработке жестких заготовок в тех случаях, когда ширина шлифованного участка может быть перекрыта шириной шлифовального круга. Глубинное шлифование позволяет за один рабочий ход снять слой материала на всю необходимую глубину. Исследована эффективность шлифования режимов для новых перспективных методов обработки и максимальное использование режущей способности инструмента.

Ключевые слова: метод глубинного шлифования, метод врезного шлифования, удельная производительность, припуск, пятно контакта.

Рис.: 1. Табл.: 3. Библ.: 7.

In the article the comparative analysis widely used methods of grinding, such as a method of cutting and grinding depth, to developing recommendations on selection of modes. The productive method of treatment - flush grinding, used in the processing of hard workpieces in cases where the width of the brushed area can be offset by the width of the grinding wheel. Deep grinding allows one stroke remove the layer of material on all the necessary depth. The efficiency grinding modes for promising new treatment methods and maximum use of cutting ability of the tool.

Key words: deep grinding method, mortise grinding method, specific performance allowance, contact patch.

Fig.: 1. Tabl.: 3. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Рациональне призначення режимів та вибір методу шліфування дозволяє підвищити ефективність обробки, зменшити собівартість, машинний час та енергетичні витрати.

Серед широко розповсюджених методів оброблення найбільш ефективними є методи врізного та поздовжнього глибинного шліфування. Перевагами урізного шліфування є однакові умови роботи ділянок профілю інструмента та його висока ефективність, порівняно з іншими методами. Перевагою поздовжнього глибинного шліфування є більша точність обробки.

Піл час оцінювання ефективності шліфування виникають проблеми з призначенням режимів для нових перспективних методів обробки та з максимальним використанням різальної здатності інструмента.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи інтенсивність процесу шліфування та використовуючи для цього питому продуктивність, як загальноприйнято [1], або нормальну швидкість підведення припуску V_n , як пропонується, можна зробити висновок, що в першому випадку отримують гіршу характеристику.

Питома продуктивність є інтегральним усередненим показником. Вона містить у собі інформацію по усіх точках контакту цього перерізу – при майже однакових розмірах плями. Для інтенсивних режимів різання з'являється лише близька до границі контакту та найбільш навантажена ділянка, де значення добутку векторів відносної швидкості та нормалі до поверхні інструмента V_n приймають максимальних граничних

значень, що підтверджується отриманими у роботі [3] виразами. Саме ця ділянка визначає інтенсивність процесу різання.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Залежно від величини питомої продуктивності обробки процесу різання поділяють на чорнове, напівчистове, чистове та тонке шліфування (табл. 1). Векторний добуток V_n є кращою характеристикою інтенсивності процесу, він містить інформацію про інтенсивність роботи ділянки у межах контакту інструмента та деталі.

Таблиця 1

Значення питомої інтенсивності зрізання металу при різних типах шліфування $\text{мм}^2/\text{с}$

Вид шліфування	Подача	
	радіальна	повздовжня
Птома інтенсивність зрізання металу	$Q_{\Pi} = V_d \cdot t_o$	$Q_{\Pi} = \frac{V_d \cdot S_d \cdot t_o}{H_k}$
Чорнове	250-500	200-400
Напівчистове	100-200	80-160
Чистове	40-80	31-63
тонке	16-32	12,5-24

Джерело: [1, с. 147].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є проведення порівняльного аналізу широко використовуваних вивчених методів з метою напрацювання рекомендацій щодо вибору режимів обробки для перспективних методів обробки.

Виклад основного матеріалу. Процес підведення припуску до периферійних ділянок інструмента для повздовжнього глибинного та врізного шліфування можна записати через функцію формоутворення [3], перенесенням інструменту до системи координат деталі (рис.)

$$\vec{r}_{np}(\theta, z, \phi) = A^3(-p \cdot \phi) \cdot A^6(\phi) \cdot A^1(-L) \cdot \vec{r}(\theta, z); \tag{1}$$

$$\vec{r}_{non}(\theta, z, \phi) = A^1\left(\frac{S_n}{2\pi} \cdot \phi\right) \cdot A^6(\phi) \cdot A^1(-L) \cdot \vec{r}(\theta, z), \tag{2}$$

де A^1, A^3, A^6 – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух вздовж осей $O_{\delta}X_{\delta}$ та $O_{\delta}Z_{\delta}$ та поворот навколо осі $O_{\delta}Z_{\delta}$; $\vec{r}(\theta, z)$ – радіус-вектор точок інструментальної поверхні; L – міжосьова відстань; ϕ – кут, який моделює обертання інструменту навколо деталі; S_n – поперечна подача інструмента; p – параметр гвинтового руху:

$$p = \frac{S_{np}}{2\pi}, \tag{3}$$

де S_{np} – повздовжня подача деталі.

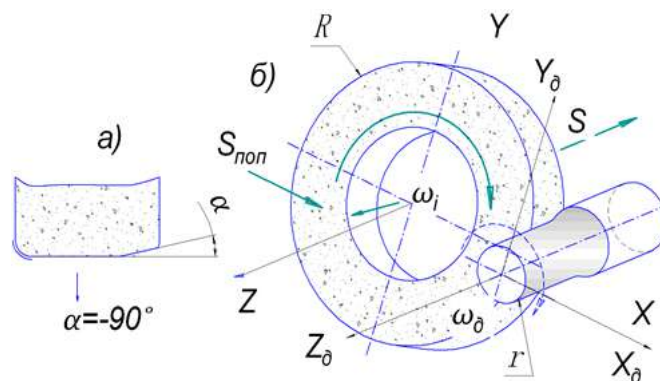


Рис. Схема до визначення V_n

Використовуючи методику роботи [3] можна подібно отримати залежності для нормалі для методів врізання ($\theta \rightarrow 0$, $\alpha_{\text{пер}} = -\pi/2$) та глибинного поздовжнього ($\theta \rightarrow 0$, $\alpha_{\text{зк}} = -\pi/2 + \alpha$) шліфування. Отже, визначають:

$$\vec{n}(\rho, \theta) = [\cos \theta \cdot \sin \alpha \quad \sin \theta \cdot \sin \alpha \quad \cos \alpha]^T; \tag{4}$$

$$\vec{n}_{\text{пер}}(\theta) = \begin{bmatrix} -1 \\ -\theta \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \vec{n}_{\text{зк}}(\theta) = \begin{bmatrix} -1 \\ -\theta \\ -\alpha \end{bmatrix}; \tag{5}$$

та швидкості підведення припуску V_n визначають диференціюванням рівняння (1)

$$\vec{V}(\theta) \Big|_{\phi=0} \approx \omega_d \cdot \begin{bmatrix} -S_n \\ -(r_d + R) \\ 0 \end{bmatrix}; \tag{6}$$

$$\vec{V}_{n3}(\theta) \Big|_{\phi=0} \approx \omega_d \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -(r_d + R) \\ -p \end{bmatrix}. \tag{7}$$

Звідси для методу врізання

$$V_n = \omega \cdot (S + \theta \cdot (R + r)). \tag{8}$$

Питому продуктивність визначають

$$Q_y(i) = \int_{\theta_1}^{\theta_2} V_{mi} \cdot (R \cdot d\theta) = \omega_d \cdot R \cdot (\theta_2 - \theta_1) \cdot \left[S_n + \frac{1}{2} (R + r) \cdot (\theta_2 + \theta_1) \right], \tag{9}$$

де $\theta_1 = \frac{-S}{(r+R)}$; $\theta_2 = \sqrt{\frac{2t}{(R+r)} \cdot \frac{r}{R}}$ – кути, що визначають границі контакту,

r – номінальний радіус деталі; R – радіус калібруючої ділянки круга; $R + r$ – міжосьова відстань; t – припуск на обробку.

Результати рекомендованих режимних параметрів, що запропоновані відомими вченими [6], та обчислених значень, що характеризують інтенсивність методів обробки, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Режими врізного шліфування та характеристики інтенсивності процесу

Швидкість кругової подачі	Радіуси круга та де- талі		Подача врізання	Кутова швид- кість деталі	Межі контакту		Нормальна швидкість	Питома продуктивність		Відстані між Поверхнями	Режим обробки
	R	r			Sn	ωд		θ1	θ2		
Вд	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1. Шліфувальний круг 25А 1- 400х40х127 F60 (25) см1											
50	200	30	0,003	27,78	0,0000	0,002	12,7	2,5	2,53	2,876	Тонка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
45	200	30	0,015	25,0	-0,0001	0,004	25,8	11,3	11,6	6,483	Тонка
40	200	25	0,04	26,67	-0,0002	0,007	41,1	26,7	28,1	9,671	Тонка
35	200	25	0,06	23,33	-0,0003	0,008	44,3	35,0	37,3	11,914	Чистова
30	200	20	0,075	25,00	-0,0003	0,008	47,3	37,5	40,7	11,879	Чистова
1.2. Шліфувальний круг 1- 300х40х127 25А F60 (25) см1											
50	150	30	0,003	27,778	0,0000	0,003	13,0	2,5	2,53	2,938	Тонка

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
45	150	25	0,015	30	-0,0001	0,005	28,5	11,3	11,6	5,969	Тонка
40	150	20	0,04	33,3333	-0,0002	0,008	46,2	26,7	28,3	8,708	Тонка
35	150	20	0,06	29,1667	-0,0004	0,010	49,9	35,0	37,6	10,734	Чистова
30	150	15	0,075	33,3333	-0,0005	0,010	54,9	37,5	41,2	10,351	Чистова
2.1. Шліфувальний круг 1- 400 x 40 x 127 14A F90-36											
40	200	50	0,003	13,33	0,0000	0,002	8,20	2	2,02	3,865	Тонка
40	200	40	0,015	16,67	-0,0001	0,005	20,25	10	10,3	7,630	Тонка
35	200	30	0,04	19,44	-0,0002	0,007	33,08	23,3	24,5	10,684	Тонка
35	200	25	0,06	23,33	-0,0003	0,008	44,27	35	37,3	11,914	Чистова
35	200	20	0,075	29,17	-0,0003	0,008	55,17	43,8	47,4	11,879	Чистова
2.2. Шліфувальний круг 1- 350 x 40 x 127 14A F90-36											
40	175	50	0,003	13,33	-1,3E-05	0,00	8,32	2	2,02	3,919	Тонка
40	175	40	0,015	16,67	-7E-05	0,01	20,49	10	10,25	7,719	Тонка
35	175	30	0,04	19,44	-0,00020	0,01	33,38	23,3	24,46	10,781	Тонка
35	175	25	0,06	23,33	-0,00030	0,01	44,60	35	37,31	12,005	Чистова
35	175	20	0,075	29,17	-0,00038	0,01	55,51	43,8	47,41	11,953	Чистова
3.1. Шліфувальний круг 1- 38A 200x10x32 60NVBE (Korund)											
33	100	50	0,003	11	0,0000	0,004	7,4	1,65	1,66	4,232	Тонка
30	100	40	0,015	12,5	-0,0001	0,009	16,4	7,5	7,67	8,234	Тонка
25	100	30	0,04	13,8889	-0,0003	0,014	25,1	16,7	17,43	11,344	Тонка
20	100	25	0,06	13,3333	-0,0005	0,015	26,6	20	21,26	12,538	Тонка
20	100	20	0,075	16,6667	-0,0006	0,016	32,9	25	27,02	12,386	Тонка
3.2. Шліфувальний круг 1- 38A 150x10x32 100MVS (Norton)											
33	75	50	0,003	11	0,0000	0,006	7,8	1,65	1,66	4,459	Тонка
30	75	40	0,015	12,5	-0,0001	0,012	17,1	7,5	7,67	8,613	Тонка
25	75	30	0,04	13,889	-0,0004	0,017	26,0	16,7	17,4	11,763	Тонка
20	75	25	0,06	13,333	-0,0006	0,020	27,5	20	21,2	12,937	Тонка
20	75	20	0,075	16,667	-0,0008	0,021	33,7	25	27	12,713	Тонка

Збільшення розмірів контакту можна пояснити зміною напрямку результуючого вектора швидкості подачі.

Рівняння V_n пояснює, чому метод глибинного шліфування є високоефективним методом обробки, бо, крім збільшення розмірів контакту, що доведено вище, з'являється додаткова складова проекції подачі на напрям нормалі до поверхні інструмента.

Якщо для різних методів однаковими є проекції швидкості на напрям нормалі, то і відстані між суміжними положеннями поверхонь різання за однаковий час будуть однаковими, адже такі режими можна вважати еквівалентними.

Рівняння V_n може бути використаним для визначення режимів різання для нових перспективних способів шліфування [4], порівнюючи відстані між сусідніми поверхнями різання за деякий час, наприклад одного оберту, з добре вивченим методом урізного шліфування.

Найкоротша відстань a_n між сусідніми поверхнями різання $a_n = V_n \cdot \tau$, де $\tau = \frac{1}{60 \cdot n_D}$ –

час одного оберту $n_D = \frac{1000 \cdot V}{2\pi \cdot r}$.

Зменшити відстані між сусідніми поверхнями різання за час одного оберту без втрати продуктивності можна за рахунок підвищення хвилинної подачі – одночасно збільшенням кількості обертів та зменшенням подачі на оберт, як це робиться за методом Quick point (Німеччина). Для можливості процесу різання, яка оцінюється мінімальним значенням відношення товщини зрізу до радіусу заокруглення кромки, використовують лише алмазні або ельборові круги, де цей радіус наближається до нуля.

Умови роботи ділянок профілю для поздовжнього та глибинного шліфування є різними – найбільш навантаженою є прилегла до торця, де через зношення утворюється забірний конус, що у свою чергу призводить до зміни навантажень. Цей конус на висоті подачі на оберт характеризується малим кутом α , який з урахуванням малості, можна виразити залежністю: $a \approx \frac{t - I_i}{S_0}$,

де t – глибина різання; I_i – знос i -ої ділянки забірної частини круга; S_0 – подача на оберт.

Подальші ділянки є більш захищеними та забезпечують кінцеву якість обробленої поверхні.

Через відсутність врахування та інформації про значення кута α розроблені окремі рекомендації для цього процесу, на які впливають окружна швидкість подачі, глибина, діаметри та ін. Разом з тим під час шліфування відомі залежності, що визначають співвідношення між об'ємами підведеного металу та зношеного абразиву.

Продуктивність шліфування, крім формоутворення, пов'язана з процесами теплової напруженості, точності та отримання якості обробленої поверхні, впливає на знос круга.

Відомо, що швидкості зношення абразиву та підведення матеріалу заготовки за деякий час, або відповідні об'єми за цей же час, пов'язані між собою співвідношенням $Q_a = C_Q \cdot (Q_n(a_i))^m$, де для діапазону швидкостей різання $V=35 \div 100$ м/с значення коефіцієнтів змінюються $C_Q=0,1 \div 0,6$, $m=1,8 \div 1,5$.

Для методу глибинного поздовжнього шліфування

$$V_n = \omega \cdot (\alpha \cdot p + \theta \cdot (R + r)). \quad (10)$$

Питому продуктивність визначають

$$Q_y(i) = \omega_\delta \cdot R \cdot (\theta_2 - \theta_1) \cdot \left[p \cdot \frac{t - I_i}{S_0} + \frac{1}{2} (R + r) \cdot (\theta_2 + \theta_1) \right], \quad (11)$$

де $Q_1 = \frac{-p \cdot \alpha}{(r + R)}$.

Ці об'єми за деякий час, наприклад 1 хвилину, відповідно можна визначити

$$Q_a = (dI_i) \cdot 2\pi \cdot R_i. \quad (12)$$

Далі рекурентним способом визначають кути нахилу ділянок профілю до осі інструменту. $(dI_i) \cdot 2\pi \cdot R_i = C_Q \cdot (Q_y(\alpha_i) \cdot d\tau)^m$,

де m – показник степеня, C – коефіцієнт.

Проаналізуємо можливе значення кута α забірної конуса, порівнюючи між собою значення V_n режимів двох вказаних процесів шліфування (табл. 3).

Таблиця 3

Режими поздовжнього шліфування та характеристики інтенсивності процесу

Швидкість кругової подачі	Радіуси круга та деталі		Кут α	Подача поздовжня	Припуск	Кутова швидкість деталі	Межі контакту		Нормальна швидкість	Питома продуктивність		Відстані між Поверхнями	Режим обробки
	R	r					θ_1	θ_2		Q_y	Q_a		
Вд	2	3	4	Sn	t	од	8	9	Vn	11	12	13	14
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.1. Шліфувальний круг 1 - 400x40x127 25A F60 (25) см1													
50	200	30	0,00	12,0	0,020	27,78	-0,0005	0,005	32,7	5,0	16,5	7,4	Чистова
45	200	30	0,00	16,0	0,050	25,0	-0,0014	0,008	46,5	15,0	36,6	11,7	Напівчистова

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
40	200	25	0,00	20	0,020	26,67	-0,0006	0,005	28,3	6,7	13,2	6,7	Чорнова
35	200	25	0,00	24	0,020	23,33	-0,0006	0,005	24,8	7,0	11,5	6,7	Чорнова
30	200	20	0,00	28	0,020	25	-0,0006	0,004	23,5	7,0	9,9	5,9	Чорнова
1.2. Шліфувальний круг 1 - 300x40x127 25A F60 (25) см1													
50	150	30	0,00	12,0	0,020	27,8	-0,0007	0,007	33,4	5,0	16,5	7,5	Чистова
45	150	25	0,00	16,0	0,020	30	-0,0007	0,006	32,4	6,0	14,8	6,8	Напівчистова
40	150	20	0,00	20	0,020	33,3	-0,0007	0,006	31,8	6,7	13,1	6,0	Чорнова
35	150	20	0,00	24	0,020	29,2	-0,0007	0,006	27,8	7,0	11,5	6,0	Чорнова
30	150	15	0,00	28	0,020	33,3	-0,0008	0,005	27,1	7,0	9,8	5,1	Чорнова
2.1. Шліфувальний круг 1 - 400 x 40 x 127 14A F90-36													
40	200	30	0,00	12,0	0,015	22,222	-0,0004	0,004	22,6	3,0	9,9	6,4	Чистова
40	200	30	0,00	16,0	0,015	22,222	-0,0004	0,004	22,6	4,0	9,9	6,4	Напівчистова
35	200	25	0,00	20	0,015	23,333	-0,0004	0,004	21,5	4,4	8,7	5,8	Чорнова
35	200	25	0,00	24	0,015	23,333	-0,0004	0,004	21,5	5,3	8,7	5,8	Чорнова
35	200	20	0,00	28	0,015	29,167	-0,0004	0,004	23,7	6,1	8,7	5,1	Чорнова
2.2. Шліфувальний круг 1 - 350 x 40 x 127 14A F90-36													
40	175	30	0,00	12,0	0,020	22,222	-0,0006	0,006	26,4	4,0	13,2	7,452	Чистова
40	175	25	0,00	16,0	0,020	26,667	-0,0006	0,005	28,5	5,3	13,2	6,720	Напівчистова
35	175	20	0,00	20	0,020	29,167	-0,0006	0,005	27,6	5,8	11,5	5,936	Чорнова
35	175	20	0,00	24	0,020	29,167	-0,0006	0,005	27,6	7,0	11,5	5,936	Чорнова
35	175	15	0,00	28	0,020	38,889	-0,0007	0,004	31,4	8,2	11,4	5,075	Чорнова
3.1. Шліфувальний круг 1 - 38A 200x10x32 60NVBE (Korund)													
33	100	50	0,00	3,0	0,015	11	-0,0013	0,014	23,4	1,2	16,4	13,3	Чистова
30	100	40	0,00	4,0	0,015	12,5	-0,0013	0,013	22,9	1,5	14,9	11,5	Напівчистова
25	100	30	0,00	5	0,015	13,889	-0,0014	0,012	21,3	1,6	12,3	9,6	Чорнова
20	100	25	0,00	6	0,015	13,333	-0,0015	0,011	18,3	1,5	9,8	8,6	Чорнова
20	100	20	0,00	7	0,015	16,667	-0,0016	0,010	20,0	1,8	9,8	7,5	Чорнова
3.2. Шліфувальний круг 1 - 150x10x32 38A 100MVS (Norton)													
33	100	50	0,00	3,0	0,020	11	-0,0015	0,018	24,6	1,2	16,4	14,1	Чистова
30	100	40	0,00	4,0	0,020	12,5	-0,0016	0,017	24,0	1,5	14,9	12,1	Напівчистова
25	100	30	0,00	5	0,020	13,889	-0,0018	0,015	22,1	1,6	12,4	10,0	Чорнова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20	100	25	0,00	6	0,020	13,333	-0,0019	0,014	18,9	1,5	9,8	8,9	Чорнова
20	100	20	0,00	7	0,020	16,667	-0,0020	0,013	20,6	1,8	9,8	7,8	Чорнова

Висновки і пропозиції. Запропоновано визначати інтенсивність методу шліфування, використовуючи скалярний добуток векторів, який містить локальну інформацію про навантаження ділянок у межах контакту та визначає відстані між сусідніми поверхнями різання. Розроблено рекомендації вибору режимів різання для нових перспективних методів [4] на базі попереднього досвіду роботи з існуючими методами. Зроблено порівняльний аналіз вискоєфективних методів обробки: врізного та поздовжнього глибинного шліфування.

Список використаних джерел

1. *Абразивная и алмазная обработка материалов* : справочник / под ред. А. Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 392 с.
2. *Лур'є Г. Б. Шлифовальные станки и их наладка* / Г. Б. Лур'є, В. Н. Комиссаржевская. – М. : Высшая школа, 1976. – 415 с.
3. *Справочник технолога-машиностроителя* : в 2 т. Т.2 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
4. *Пат. 92147 Україна МПК (2014) В 24 В 5/04 Спосіб шліфування впалих поверхонь обертання кінцевою поверхнею торця абразивного інструмента* / Рудик А. В., Рудик В. А. ; заявники та патентовласники Рудик А. В., Рудик В. А. – №u201310754 ; заявл. 06.09.13 ; опубл. 11.08.14, Бюл. №15.

5. *Круглое шлифование с ЧПУ / Проспект фирмы "Junker maschinen" на станке "Quickpoint 1001" и "Quickpoint 1002".* Erwin Junker. Maschinen fabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 7618 Nordrach. – Germany, 1991. –16 с.

6. *Филимонов Л. Н.* Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с.

7. *Рудик А.В.* Продуктивність вискоелективного позовжнього та глибинного шліфування поверхонь обертання периферією та торцем орієнтованим абразивним інструментом / А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 1 (77). – С. 59–64.

References

1. Reznikov A.N. (1977). *Abrazivnaia i almaznaia obrabotka materialov [Abrasive and diamond material processing]*. M.: Mashinostroenie (in Russian).

2. Lur G.B., Komissarzhevskaja V.N. (1976). *Shlifovalnye stanki i ikh naladka [Grinding machines and their adjustment]*. M.: Vysshiaia shkola (in Russian).

3. Kosilova A.G. & Meshcheriakov R.K. (1985). *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelia [Directory technologist-machinist]*. Vol. 2. M.: Mashinostroenie (in Russian).

4. Rudyk A.V., Rudyk V.A. (2014). *Sposib shlifuvannia vpalykh poverkhon obertannia konichnoi poverkhnei torsia abrazyvnoho instrumenta [Method fallen grinding surfaces of revolution conical end surface of the abrasive tool]*. Patent RF No. 92147.

5. *Krugloe shlifovanie s CHPU/Prospekt firmy Junker maschinen na stanke Quickpoint 1001 i Quickpoint 1002 Erwin Junker Maschinen fabric Gmbh Junkerstra e 2 Postfach 25 D 7618 Nordrach (1991) [Cylindrical grinding CNC "Junker maschinen" company prospectus on the machine "Quickpoint, 1001" and "Quickpoint, 1002".* Erwin Junker. Maschinen fabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 7618 Nordrach]. Germany (in Russian).

6. Filimonov L.N. (1979). *Vysokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]*. L.: Mashinostroenie (in Russian).

7. Rudyk A.V., Venzheha V.I. (2015). *Produktyvnist vyskoefektyvnoho pozdovzhnoho ta hlybynnoho shlifuvannia poverkhon obertannia peryferiieiu ta tortsem oriietovanym abrazyvnyim instrumentom [Performance is highly length and depth grinding surfaces of revolution periphery and end face oriented abrasive]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Technichni nauky" – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences"*, no. 1 (77), pp. 59–64 (in Ukrainian).

Рудик Андрій Васильович – кандидат технічних наук, 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 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 of Department of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: andrei.rudik@gmail.com

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

ResearcherID: H-7173-2014

Следнікова Олена Сергіївна – аспірант, асистент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Следникова Елена Сергеевна – аспирант, ассистент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Sliednikova Olena – PhD student, assistant of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: s_lena_s@bigmir.net

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

ResearcherID: N-4430-2015

Подзюліна Аліна Петрівна – асистент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Подзолкіна Аліна Петрівна – асистент кафедри автомобільного транспорту і отраслевого машиностроєння, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченко, 95, г. Чернігів, 14027, Україна).

Podzolkina Alina – assistant of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0908-0401>

ResearcherID: J-1272-2016

Куций Олег Юрійович – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Куций Олег Юрьевич – студент, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченко, 95, г. Чернігів, 14027, Україна).

Kutsiy Oleg – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Johnloki@yandex.ua

УДК 621.922

*Антоніна Кологойда***ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПРИ ЗАТОЧУВАННІ ГОЛЧАСТОЇ ГАРНИТУРИ***Антонина Кологойда***ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ЗАТАЧИВАНИИ ИГОЛЬЧАТОЙ ГАРНИТУРЫ***Antonina Kolohoida***DETERMINING THE CUTTING FORCES DURING CLOTHING WIRE ARE BEING GRINDED**

На якість обробки вовни на чесальних агрегатах значним чином впливає стан голчастої гарнітури. При її заміні на барабанах та валиках текстильних машин, а також у результаті тривалого використання необхідно проводити її заточування. Нині немає науково обґрунтованої методики вибору режимів різання. У роботі запропонована методика визначення одиничних та загальних сил різання, що діють на одну голку у процесі заточування голчастої гарнітури барабанів та валиків текстильних агрегатів. Розраховано довжину лінії контакту однієї голки з абразивним інструментом та визначено кількість зерен, що беруть участь в обробці однієї голки, що дасть змогу в подальшому більш коректно вибрати режими обробки та характеристики різального інструменту.

Ключові слова: заточування, шліфування, голчаста гарнітура, сила різання.

Рис.: 5. Бібл.: 5.

На качество обработки шерсти на чесальных агрегатах значительно влияет состояние игольчатой гарнитуры. При ее замене на барабанах и валиках текстильных машин, а также в результате длительной эксплуатации необходимо осуществлять ее заточку. В данное время не существует научно обоснованной методики выбора режимов резания. В работе предложена методика определения единичных и суммарных сил резания, которые действуют на одну иглу в процессе затачивания игольчатой гарнитуры барабанов и валиков текстильных машин. Рассчитана длина линии контакта одной иглы с абразивным инструментом, а также определено количество зерен, которые принимают участие в обработке одной иглы, что даст возможность более рационально выбирать режимы обработки и характеристику режущего инструмента.

Ключевые слова: заточка, шлифование, игольчатая гарнитура, сила резания.

Рис.: 5. Библ.: 5.

The condition of clothing wire mostly influence on the quality processing wool. It is necessary to carry out grinding after it replacement on the drums and rollers of textile machines and after long-term operation. There are not procedures for the selection of cutting conditions at this time. We propose a method of determining the individual and total cutting forces that act on one needle in the process of sharpening the needle sets of drums and rollers of textile machines. It calculates the length of line of the needle contact with abrasive tools, and defined number of grains that are involved in the processing. This will be able a more rational to choose the modes of processing and characterization of the cutting tool.

Key words: sharpening, grinding, clothing wire, cutting force.

Fig.: 5. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. Однією з ключових операцій текстильної промисловості є підготовка сировини для подальшої її обробки та створення кінцевого продукту – нитки або тканини. Вхідна сировина – вовна, перш за все, проходить очищення та виділення окремих волокон прочісуванням її на чесальному агрегаті. На якість та продуктивність операції, а отже, і на загальну якість готової продукції значним чином впливає стан голчастої гарнітури. При заміні голчастої гарнітури на барабанах та валиках текстильних машин, а також у результаті тривалого використання необхідно проводити її заточування. Нині немає снує обґрунтованої методики вибору режимів різання, проте при завищених значеннях швидкості різання відбувається значне підвищення температури в зоні обробки, у результаті чого кінчики голки оплавляються та виникає задирка, яку в подальшому досить складно видалити, та яка призводить до розриву вовни, а отже, збільшення відсотка браку. Водночас, при низьких значеннях швидкості різання у процесі заточування голка значно відхиляється від робочого положення, її рух спричинює зміну форми робочої поверхні з плоскої на випуклу, що також погіршує умови роботи чесального агрегата. Отже, визначення силових залежностей, які допоможуть розробити методику вибору режимів шліфування при заточуванні голчастої гарнітури барабанів та валиків текстильних машин, є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1; 2] розглянуто існуючі схеми та запропоновані нові методи заточування голчастої поверхні барабанів та валиків текстильних агрегатів, що покращують якість обробки. У роботах [1; 3] запропонована методика визначення сумарної сили різання. Однак у всіх роботах текстильний валик розглядається як гладка циліндрична поверхня з введенням коефіцієнта на її переривчастість. У той же час, важливим питанням є саме силові та температурні фактори що впливають на одну конкретну голку.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В існуючих роботах розглянуто методику визначення загальної сили різання, що діє у межах плями контакту, однак, враховуючи малу жорсткість окремих голок голчастої гарнітури визначним критерієм вибору режимів різання та характеристик інструменту є сила, що діє на одну голку. Оскільки саме ця сила визначає динаміку зміни положення голок у процесі заточування, а отже, і форму вихідної робочої поверхні.

Мета статті. Головною метою роботи є визначення одиничних сил, що діють на кожну голку, що дасть можливість визначити характер руху голки у процесі заточування, а отже вихідну форму робочого елемента голки. Та в кінцевому результаті дасть змогу більш раціонально підбирати режими заточування та характеристики інструменту.

Виклад основного матеріалу. Текстильний барабан або валик являє собою гладку циліндричну поверхню, на яку намотується голчаста гарнітура (рис. 1), основними робочими елементами якої є голки, що закріплені на войлочній основі. Голки являють собою П-подібні скоби з вигнутими кінчиками. Залежно від призначення гарнітури, голки виготовляють діаметрами від 0,2 до 0,4 мм, також можливі варіанти їх закріплення у гарнітурі.

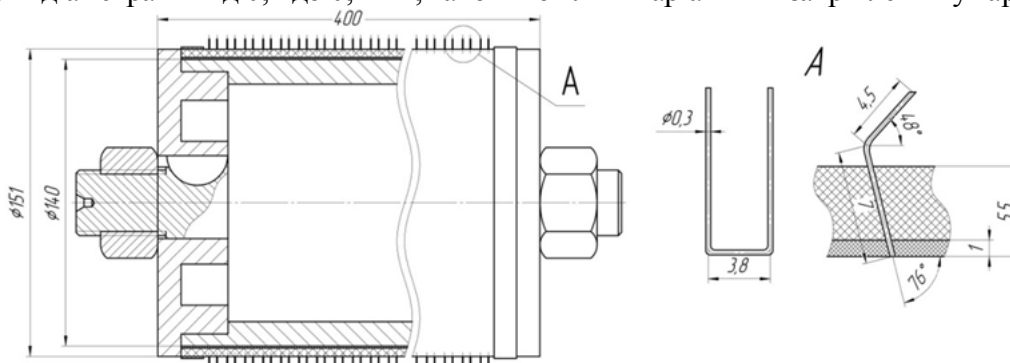


Рис. 1. Загальний вигляд текстильного валика

У загальному випадку заточування голчастої гарнітури барабанів та валиків чесальних машин 1 (рис. 2, а) здійснюється абразивним кругом 2, який обертається з кутовою швидкістю ω_i та рухається вздовж осі деталі 1 з подачею S_z . Напрямок обертання валика ω_v – зустрічний до шліфувального круга.

Обробка кожної конкретної голки починається у точці А – точці входу її у зону контакту з інструментом (рис. 2, б). Переважна кількість матеріалу знімається на ділянці А-В, але враховуючи малу жорсткість голок, у процесі оброблення вони відхиляються від номінального положення, а при русі з точки В до точки С повертаються у вихідне положення пружними силами, тим самим продовжуючи можливу зону контакту з інструментом до точки С. Довжина дуги контакту однієї голки та шліфувального круга залежить від розмірів деталі та інструмента, припуску на обробку, а також швидкостей обертання. Кут розташування точки А входження валика у контакт зі шліфувальним кругом розраховується за формулою

$$\cos(\beta_0) = \frac{(R_v + R_i - t)^2 + R_v^2 - R_i^2}{2 \cdot (R_v + R_i - t) \cdot R_v}, \quad (1)$$

де β_0 – початковий кут контакту інструмента та деталі; R_v – максимальний радіус голчастої гарнітури текстильного валика; R_i – радіус інструменту; t – глибина різання.

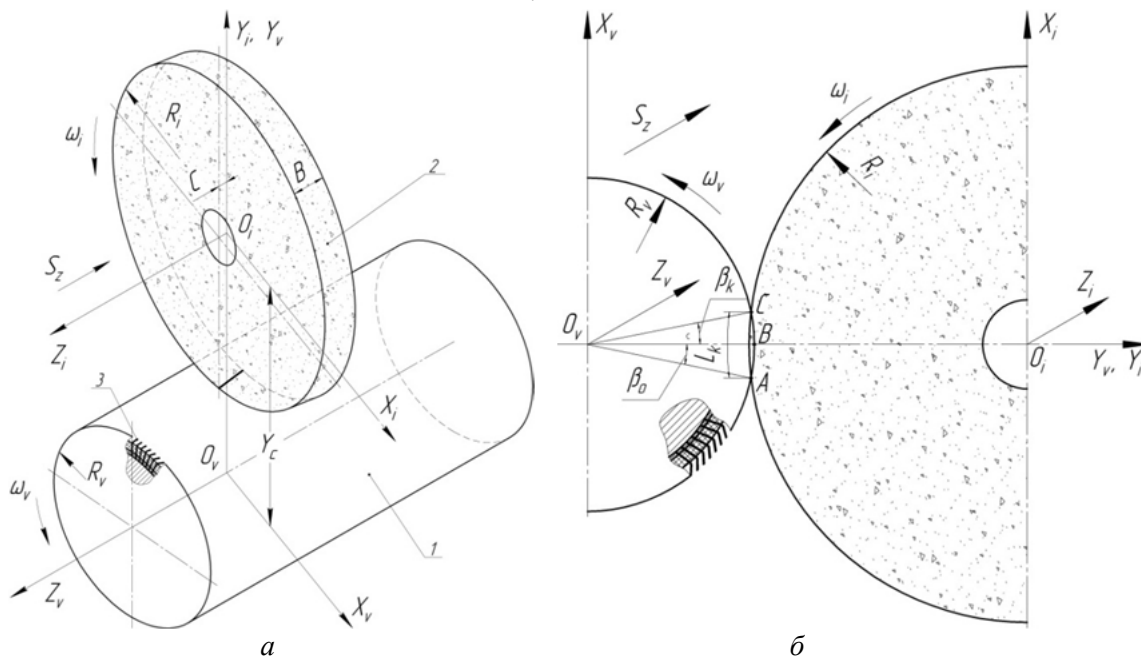


Рис. 2. Схема заточування голчастої гарнітури периферією шліфувального круга

Максимально можливий кут виходу т. А із зони контакту розраховується аналогічно (1), за припущення постійності радіусу текстильного валика $|\beta_k| = |\beta_0|$.

Швидкість обертання шліфувального круга ω_i відрізняється від швидкості обертання деталі і, у загальному випадку, більша за кутову швидкість текстильного валика ω_d . При повороті деталі на кут $2\beta_0$ шліфувальний круг додатково повернеться на кут $\beta_{dod} = 2 \cdot \beta_0 \cdot \frac{\omega_i}{\omega_v}$, тоді загальний кут контакту інструмента і деталі становить $\beta_z = \beta_0 + \beta_k + \beta_{dod}$. Отже, максимально можлива довжина ділянки круга, що контактує з однією точкою на валику: $L = \theta_z \cdot R_i$, при цьому переважна кількість матеріалу знімається ділянкою круга довжиною $L_1 = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot \theta_z \cdot R_i$, при досягненні валиком точки В.

Площу ділянки контакту можна визначити, знаючи діаметр голки d_z

$$s = L \cdot d_z + 0,25\pi \cdot d_z^2. \quad (2)$$

Розрахунок кількості абразивних зерен на довжині лінії контакту проводимо за методикою, наведеною у роботі [4]

$$N_z = N_n \cdot A \cdot \int_0^x t^{\gamma-1} \cdot (1-t)^{\eta-1} dt, \quad (3)$$

де N_z – кількість різальних кромки на заданому рівні, що припадають на одиниці довжини, N_n – повна кількість різальних кромки, A , γ , η – параметри бета-розподілу, $0 \leq x \leq 1$, $x = \frac{z}{H_n}$ – відношення відстані z від зовнішньої нульової лінії профілю до вершини даної різальної кромки до всієї висоти профілю H_n .

Кількість різальних кромки N_z' на одиниці поверхні круга

$$N_z' = \frac{k_n \cdot N_z}{d_{cp} + 2 \cdot r_i}, \tag{4}$$

де k_n – коефіцієнт перекриття абразивних зерен ($k_n \approx 0,4 \div 0,8$), d_{cp} – середній розмір абразивних зерен, r_i – радіус округлення вершини щупа ($r_i = 2 \text{ мкм}$).

Кількість абразивних зерен, що контактують з точкою A , визначається

$$N_z = s \cdot N_z'. \tag{5}$$

Однак контакт голки з розрахованою кількістю зерен відбувається послідовно протягом деякого часу. З метою визначення сил різання, що діють на голку, а також її відхилення у процесі різання, виділимо із загальної плями контакту одну голку (рис. 4). Загальну силу різання прийнято розкласти на нормальну (P_y) та тангенціальну складові (P_z), при цьому на заготовку діють відповідні, обернені сили, які, крім зняття матеріалу, додатково деформують деталь.

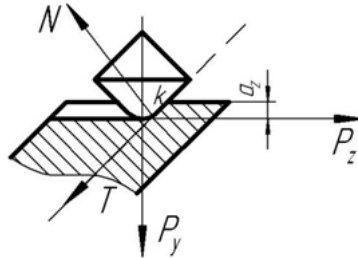


Рис. 3. Схема визначення сили різання, що діє на одну голку

Згідно з [4] на абразивне зерно у процесі різання діють сили зсуву, тертя та інерційна сила, при цьому складові сили різання визначаються з рівнянь

$$P_z = \tau_s \cdot a_z \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot a_z} \cdot \frac{\sin(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \tau_s \cdot a_z \cdot \rho \cdot \mu}{3 \cdot \mu_s} + 10^{-4} \cdot a_z \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot a_z} \cdot \rho_m \cdot v^2 \cdot \left[1 - \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \right], \tag{6}$$

$$P_y = \tau_s \cdot a_z \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot a_z} \cdot \frac{\cos(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \tau_s \cdot a_z \cdot \rho \cdot \mu}{3 \cdot \mu_s} + 10^{-4} \cdot a_z \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot a_z} \cdot \rho_m \cdot v^2 \cdot \frac{\sin \beta \cdot \cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)}, \tag{7}$$

де τ_s [кгс/мм²] – напруження зсуву, a_z [мм] – глибина врізання, ρ [мм] – середній радіус заокруглення вершини ріжучої крайки, γ – передній кут різальної крайки, β – кут зсуву, φ_s – кут тертя у площині зсуву, μ_s – коефіцієнт внутрішнього тертя у площині зсуву, μ – коефіцієнт зовнішнього тертя на задній поверхні різальної кромки, ρ_m [г/см³] – густина матеріалу, v [м/с] – швидкість різання.

Невідомі параметри у формулах (6), (7) визначаються експериментальним шляхом і наведені у [4] для різних типів матеріалів та характеристик шліфувальних кругів. Розрахунок кількості зерен, що одночасно знімають матеріал з однієї голки, проводиться за формулою (5), у якій s – площа поперечного перерізу голки.

Для визначення величини відхилення голки при її заточуванні також необхідно знати сили реакції, що виникають в основі (вовні) у місці закріплення голки. З метою визначення сил протидії було проведено експериментальне дослідження (рис. 4), у ході

якого до голки ступінчато прикладались зусилля та вимірювались відхилення голки від початкового положення [5]. У результаті чого побудовані карти напружень та переміщень що виникають у голці (рис. 5).

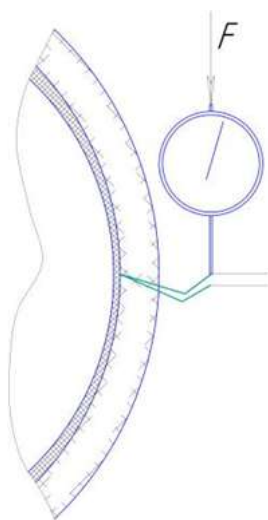


Рис. 4. Схема визначення сил реакцій основи

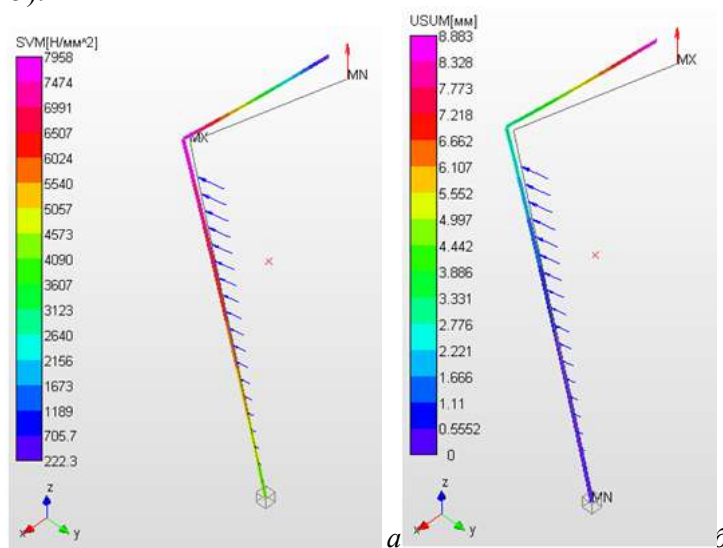


Рис. 5. Визначення реакцій голки під час шліфування: а – карта напружень; б – карта переміщень

Висновки і пропозиції. Запропонована методика визначення одиничних та загальних сил різання, що діють на одну голку у процесі заточування голчастої гарнітури барабанів та валиків текстильних агрегатів. Розраховано довжину лінії контакту однієї голки з абразивним інструментом та визначено кількість зерен, що беруть участь в обробці однієї голки загалом та максимально можливу кількість зерен, що ріжуть в один, певний, проміжок часу. На базі експериментального дослідження визначені сили протидії повстяної основи голчастої гарнітури, у результаті чого стало можливим моделювання поведінки голки у процесі шліфування. Надалі планується на базі отриманих силових залежностей розробити методику розрахунку оптимальних режимів різання з умови забезпечення необхідної форми робочої поверхні голчастої гарнітури.

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. И. Особенности процесса заточки голок валков чесальных машин со скрещенными осями инструмента та детали / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Кологойда // Вісник Сумського державного університету. Науковий журнал. – 2010. – № 4. – С. 55–60.
3. Кальченко В. И. Визначення сил різання при заточці голчастої поверхні барабанів текстильних машин зі скрещеними осями інструмента і деталі / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Кологойда // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2011. – № 2 (49). – С. 84–88.
4. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, ленинградское отделение, 1979. – 248 с.
5. Кологойда А. В. Підвищення якості заточки голчастої поверхні валиків текстильних машин зі скрещеними осями інструмента та деталі / А. В. Кологойда // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2014) : IV Міжнародна науково-практична конференція (19–21 травня, Чернігів, Україна). – Чернігів : ЧНТУ, 2014. – С. 132–139.

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: CHGTU (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Kolohoida, A.V. (2010). Osoblyvosti protsesu zatochky holok valkiv chesalnykh mashyn zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta detail [Features of the process grinding needles roll carding machine with crossed axes tool and details]. *Visnyk Sumskoho derzhavnogo universytetu – Visnyk of Sumu State University*, no. 4, p.p. 55–60 (in Ukrainain).

3. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Kolohoida, A.V. (2011) Vyznachennia syl rizannia pry zatochtsi holchastoi poverkhni barabani tekstylnykh mashyn zi skhreshchenymy osiamy instrumenta i detail [Determination cutting forces during the grinding at the surface of the drum needle textile machinery with crossed axes tool and details]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu – Visnyk of Chernihiv State University of Technology*, no. 2 (49), p.p. 84–88 (in Ukrainain).

4. Filimonov, L.N. (1979). *Vysokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie, leningradskoe otdelenie (in Russian).

5. Kolohoida, A.V. (2014) Pidvyshchennia yakosti zatochky holchastoi poverkhni valykyv tekstylnykh mashyn zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta detail [Improving the quality of surface grinding needle rollers of machines with crossed axes tool and parts]. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system (KZlATPS-2014). Chetverta mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – [Comprehensive quality assurance processes and systems (KZYATPS 2014). The Fourth International Scientific Conference]* (Chernihiv, May 19-21). Chernihiv: ChNTU, pp. 132–139 (in Ukrainain).

Кологойда Антоніна Вікторівна – старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Кологойда Антонина Викторовна – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kolohoida Antonina – Senior Lecturer of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kolohoida@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1742-2686>

ResearcherID: I-1118-2014

УДК 004.942

Олександр Литвин

МЕТОДОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ РОБОТИ ГПА

Александр Литвин

МЕТОДОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ГПА

Olexandr Lytvyn

METHODOLOGIES OF DIAGNOSIS AND CONTROL OF GPU

Проаналізовано роботу газоперекачувальних агрегатів (ГПА), зокрема аналіз їхніх відмов, відмовостійкості системи автоматичного керування з метою напрацювання рекомендацій щодо створення систем автоматизованого діагностування, призначеного для запобігання вимушених змін режиму роботи ГПА, зокрема зупинок через відмови вимірювальних каналів та сигналізаторів, що також дозволить ручне встановлення недостовірності будь-яких вимірюваних параметрів та дискретних сигналізаторів для технічного обслуговування відповідних каналів без зупинення ГПА. Розглянуто відомі методи вирішення досліджуваної проблеми. Визначено подальші напрямки дослідження.

Ключові слова: газоперекачувальні агрегати, система автоматичного діагностування, відмовостійкість, відмови вимірювальних каналів, сигналізаторів, режими роботи ГПА.

Рис.: 1. Бібл.: 16.

Проанализирована работа газоперекачивающих агрегатов (ГПА), в том числе анализ их отказов, отказоустойчивости системы автоматического управления с целью выработки рекомендаций по созданию систем автоматизированного диагностирования, предназначенного для предотвращения вынужденных изменений режима работы ГПА, в частности остановок из-за отказов измерительных каналов и сигнализаторов, что также позволяет ручное установление недоверности любых измеряемых параметров и дискретных сигнализаторов для технического обслуживания соответствующих каналов без остановки ГПА. Рассмотрены известные методы решения исследуемой проблемы. Определены дальнейшие направления исследования.

Ключевые слова: газоперекачивающие агрегаты, система автоматического диагностирования, отказоустойчивость, отказы измерительных каналов, сигнализаторов, режимы работы ГПА.

Рис.: 1. Библ.: 16.

In the article the work of gas pumping units (GPU) has been analysed, including the analysis of their failure, the failover of an automatic diagnostics system with a view to developing recommendations on the creation of automated diagnosis, aimed at preventing the forced change of GPU mode, including stops due to failure of measurement channels and detectors, that also allows manual setting of unreliability of any measured parameters and discrete detectors for maintenance of appropriate channels without stopping GPU. Known methods of solving problems have been investigated. The further areas of research have been identified.

Key words: gas pumping units, automatic diagnostics system, fault tolerance, refusal of measuring channels, sensors, mode of GPU.

Fig.: 1. Bibl.: 16.

Постановка проблеми. Призначення газотранспортної системи (ГТС) України полягає в забезпеченні надійного та безперебійного транзиту природного газу від країн постачальників до країн імпортерів та подачі газу внутрішнім споживачам. Основними елементами ГТС є магістральні газопроводи, газорозподільні, газовимірювальні станції, підземні сховища та компресорні станції з комплектом основного та допоміжного обладнання. Використовуються системи централізованого контролю й управління (СЦКУ) типу Кварц-2М та система керування загальностанційними та режимними кранами Вега-2М. Сучасний розвиток технології подачі та оброблення інформації висуває до існуючих систем керування та діагностування нові вимоги: впровадження сучасного діагностичного автоматичного комплексу (ДАК) КЦ у складі системи автоматичного керування (САК) КЦ з урахуванням функцій дистанційного контролю параметрів, стану обладнання, а також керування основним технологічним обладнанням з верхнього рівня – автоматизованого робочого місця (АРМ) системного інженера, що істотно вплине на надійність і безвідмовність роботи ГТС України.

Встановлення ДАК ГПА у складі САК КЦ даватиме можливість оперативно відслідковувати роботу ГПА, аналізувати і відстежувати передаварійні ситуації, що приведе до скорочення річних витрат паливного газу та скорочення витрат газу під час транспортування за рахунок своєчасного втручання в роботу ГПА, а також скорочення кількості

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

аварійних зупинок за рахунок впровадження нових алгоритмів із застосуванням математичного апарату штучних нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Надійність роботи ГПА впливає на режим роботи газопроводу, від якого залежить безперебійна поставка газу споживачам, а також транспортування через територію України. Дослідженню завдань підвищення надійності енергетичного обладнання та трубопровідних систем у різний час були присвячені роботи С. П. Зарицького, В. А. Іванова, В. А. Острейковського, Е. А. Ларіна, П. Г. Антропова, О. Н. Долинина, А. К. Кузьміна, А. Ю. Шварца та ін. Особливої уваги заслуговує дослідження, спрямоване на підвищення інформативності та достовірності параметрів С. В. Єпіфанова, М. В. Шевченка [16], в їхній статті було розглянуто проблему невимірюваних параметрів ГТД шляхом статистичного аналізу вимірюваних в умовах зміни технічного стану двигуна і недостатністю інформації про цю зміну, викликану обмеженими можливостями вимірювальної системи. Один з провідних підходів приводить Д. С. Легконогих, який наводить опис підходу до технічної діагностики авіаційних силових установок із застосуванням математичного апарату штучних нейронних мереж. Застосування такої системи діагностики дозволить виявляти відмови двигунів на ранніх стадіях і запобігати їх. Водночас аналіз публікацій вказує на недостатній рівень досліджень у напрямку безвідмовності систем автоматичного діагностування в умовах відмови або недостовірності в роботі аналізаторів, каналів зв'язку. Нині в Україні працює велика кількість ГПА різних типів. Найбільш уживаними є ГПА із газотурбінним приводом з вільною силовою турбіною та відцентровим нагнітачем. У процесі експлуатації газопроводу значно змінюється тиск та температура на вході в нагнітач, витрата газу, кількість паралельно працюючих ГПА, що викликає відповідні зміни режимних параметрів на виході компресорної станції. Режим роботи нагнітача постійно змінюється в режимі експлуатації. Це викликано змінами витрати газу, складу газу, умовами навколишнього середовища, а також зміною технічного стану ГПА в цілому. Основними параметрами роботи ГПА є тиск газу на вході ($P_{вх}$) і виході нагнітача ($P_{вих}$) частота обертів його ротора, температура газу на вході і виході нагнітача, температура продуктів згоряння перед турбіною високого тиску (ТВТ).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Якщо проаналізувати відмови, які трапляються на ГПА, за типами обладнання, що експлуатуються на території України в межах одного року, то можна їх приблизно розподілити у таких відсоткових значеннях:

- механічне обладнання – 24 %;
- електрообладнання – 19 %;
- обладнання КВПіА – 55,4 %;
- інші відмови – 1,6 %.

Таким чином, виходячи з даних УКРТРАНСГАЗУ, особливу увагу в контексті відмовостійкості необхідно приділити обладнанню контрольно-вимірювальних приладів і автоматиці; вирішити питання, пов'язані з контролепридатністю, достовірністю роботи аналізаторів та каналів зв'язку в умовах безперервної експлуатації. Новий сучасний ДАК КЦ має відповідати сучасним вимогам:

- можливості інтегруватися в багаторівневі інформаційні системи;
- скорочення часу на збір і обробку технологічної інформації;
- оперативне виявлення аварійних і доаварійних ситуацій;
- діагностування технологічних об'єктів у реальному масштабі часу, у тому числі в нештатних ситуаціях;
- розширення обсягів і підвищення достовірності технологічної інформації.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є проведення аналізу використовуваних, вивчених методів з метою напрацювання рекомендацій, розробці ДАК, режимів роботи

для перспективних систем автоматичного діагностування ГПА із застосуванням нейромережових технологій математичного апарату.

Виклад основного матеріалу. Розглянуто методології діагностування, призначені для запобігання вимушених змін режиму роботи ГПА, зокрема зупинень, через відмови вимірювальних каналів та сигналізаторів.

Ефективність і надійність експлуатації обладнання багато в чому визначається досконалістю системи обслуговування, яка залежить як від системи проведення ремонтів і рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу, так і від належного рівня експлуатації, системи контролю працездатності і ремонтпридатності обладнання.

Для забезпечення належного рівня експлуатації необхідна технічна діагностика, метою якої є виявлення відмов і несправностей на ранніх стадіях їх розвитку. Технічна діагностика – наука про розпізнавання стану технічної системи. Структура технічної діагностики включає два взаємопов'язані напрямки: теорію розпізнавання і теорію контролепридатності. Контролепридатність – властивість виробу, що характеризує його пристосованість до проведення контролю заданими засобами [5; 11].

Теорія розпізнавання використовується для побудови діагностичних моделей об'єктів діагностування, а також для розробки алгоритмів розпізнавання і правил прийняття рішення.

Теорія контролепридатності включає розробку засобів і методів отримання діагностичної інформації, контроль технічного стану об'єкта і пошук несправностей. Контролепридатність повинна забезпечуватися конструкцією виробу і системою її технічної діагностики.

Нині рівень розвитку системи транспорту газу і розвиток діагностичних технологій призводить до збільшення значущості знання про технічний стан устаткування, що у свою чергу вимагає розширення і поглиблення приладової і методологічної бази діагностичних досліджень.

Для якісного дослідження технічного стану складні системи повинні бути розділені на підсистеми (комплекси, агрегати) і елементи (вузли та деталі). У складі підсистем можуть розглядатися конструктивно і функціонально завершені складові частини системи, взаємодія яких забезпечує досягнення поставленої мети під час виконання запланованого завдання. Як елементи в розгляд включаються складові частини, які є результатом деякого розподілу конструкції системи без дотримання принципів конструктивної і функціональної завершеності частин.

Кожен елемент системи пов'язаний з іншими елементами певним чином, а ідентичні елементи можуть мати різні характеристики в різних системах. Тому, перш за все, необхідно виявити взаємозв'язки і провести її структурний аналіз. Отримана таким чином інформація може надаватися у вигляді різних схем, креслень, технічних описів, карт логічних переходів тощо [7; 9; 10].

Компресорну установку можна визначити як складну технічну систему, в якій не можна розмежувати дію змінних різної фізичної природи, оскільки вони мають властивість емерджентності, тобто вони не зводяться до суми складових частин, а являють собою якесь єдине ціле, що володіє якостями, які жодній зі складових її частин не притаманні [3; 4]. Все, що не входить до технічної системи, є щодо неї зовнішнім середовищем. Система може відчувати вплив цього середовища і сама впливати на нього. Перші можна визначити як вхідні впливу, другі – як вихідні. Вхідні впливу можна розділити на регульовані, випадкові динамічні дії і «шум» системи. Сукупність вихідних параметрів можна охарактеризувати як основу вектора технічного стану. У свою чергу, вектор технічного стану за допомогою датчиків сприймається вимірювальними

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

комплексами і піддається дослідженню певними методами аналізу, утворюючи відгук системи, градієнт зміни якого вказує на зміну технічного стану.

Пошук несправностей і дефектів, що зароджуються у проточній частині відцентрового компресора (осьового компресора, турбіни) не може обмежуватися тільки вібродіагностикою, яка дає близько 60 % достовірної інформації про стан газоповітряного тракту. Тому для своєчасного отримання інформації про стан проточної частини і характер перебігу потоку газу необхідно провести оцінювання поточних параметрів газового потоку, відхилення яких від допустимих норм може призвести до виходу з ладу вузлів і агрегатів компресора. Своєчасне виявлення небезпечних режимів, у разі їх виникнення, дозволить запобігти відмовам і уникнути аварійних ситуацій. Принципова схема взаємозв'язків складної технічної системи наведена на рисунку.

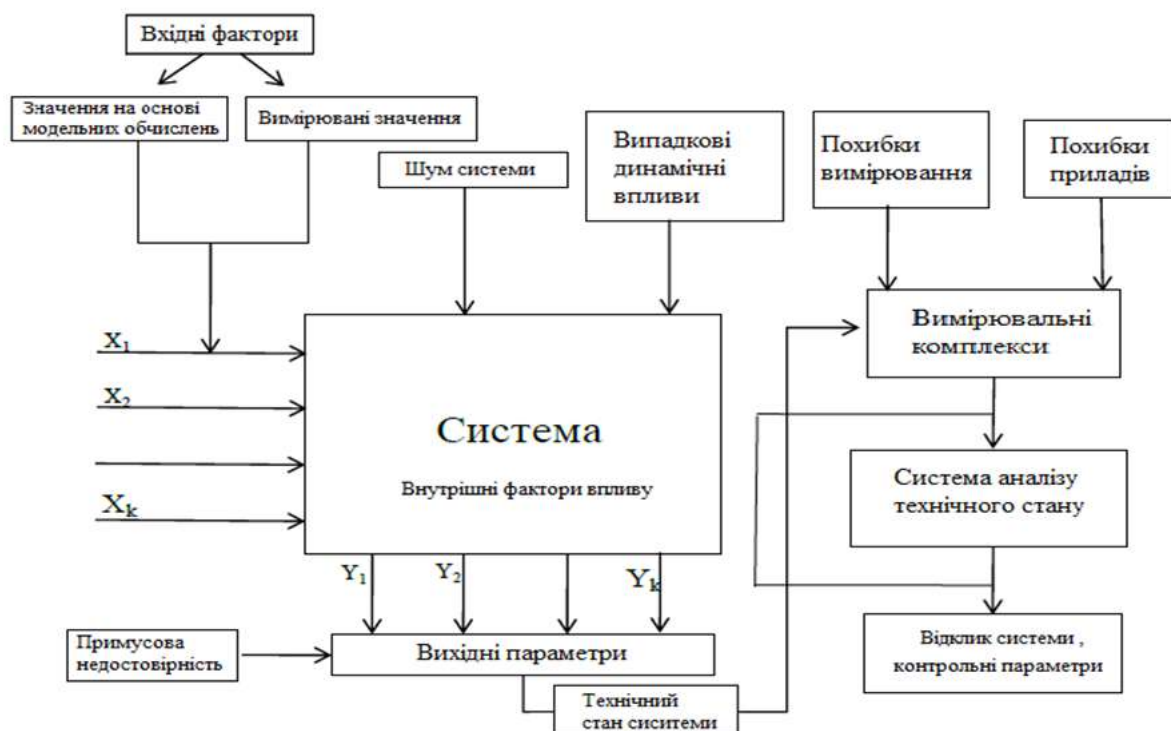


Рис. Принципова схема взаємозв'язків складної технічної системи

Визначення технічного стану газового тракту відцентрового нагнітача компресорної установки (а так само осьового компресора при використанні газотурбінного приводу) здійснюється методами функціонального діагностування [2; 11; 12; 13], заснованого на аналізі результатів вимірювань відхилень основних вимірюваних робочих параметрів – прямий метод аналізу. У разі, якщо деякі значення діагностичних параметрів не піддаються безпосередньому виміру, їхні значення визначаються математичною обробкою інших. Реальні показники можуть відрізнитися від пов'язаних з ними фізичними і математичними залежностями з урахуванням можливих похибок систем і способів вимірювання (непрямий метод аналізу). Такий метод дозволить виявити тільки ті несправності, які викликають зміну відхилень термогазодинамічних параметрів (тиску, температур, витрат газу) від середніх, заданих технічною документацією значень. Основна складність контролю технічного стану проточної частини відцентрового нагнітача полягає у труднощі математичного моделювання або кількісної оцінки процесів, що протікають у нагнітачі, що призводить до складних проблем встановлення достовірного діагнозу за прийнятний проміжок часу.

Сутність термогазодинамічних діагностики полягає в [2; 6; 8; 11]:

- постійному або періодичному контролю поточних параметрів газового потоку і стану проточної частини;
- порівняння отриманих даних з еталонними характеристиками;
- кількісне і якісне визначення відхилень з огляду на похибки вимірювання;
- попередження обслуговуючого персоналу компресорної установки про наближення режиму роботи системи до критичних точок (задовго до спрацьовування аварійних систем) або появи небажаних явищ (зрив, відкладення, ерозія тощо) у роботі газового тракту.

Погіршення стану нагнітача і ГТУ в процесі експлуатації впливає на надійність, моторесурс, газодинамічні характеристики ГПА і найрізноманітніші технологічні показники газопроводу. Кількісне визначення впливу зміни технічного стану ВЦН і ГТУ на технологічні показники роботи газопроводу може бути здійснено в межах термогазодинамічної моделі ГПА.

Значна кількість вимірюваних параметрів ГПА знаходяться у фізичній залежності один від одного. Використовуючи ці залежності, за допомогою алгоритмів обчислюють розрахункові (аналітичні) значення одних параметрів через вимірювані значення інших (параметрів-аргументів). Це дозволяє зберігати контроль та регулювання параметрів у випадку відмови окремих каналів вимірювання та продовжувати роботу ГПА на заданому режимі [14].

Також є обчислювані (невимірювані) параметри регулювання (витрата паливного газу, витрата нагнітача, запас від межі помпажу), які алгоритм розраховує декількома способами, що відрізняються складом аргументів [4]. Таке дублювання розрахунків дозволяє використовувати альтернативний розрахунок у разі порушення каналів вимірювання окремих аргументів. Аналітичний блок тільки для тих параметрів захисту ГПА і регулювання його режиму (критичних параметрів), для яких встановлено однозначні аналітичні залежності з іншими параметрами.

Результатом аналітичної ідентифікації відмови каналу вимірювання є ознака недостовірності відповідного параметра. Дозволивши ручне встановлення недостовірності будь-яких вимірюваних параметрів та дискретних сигналізаторів для технічного обслуговування відповідних каналів без зупинення ГПА. ДАК безперервно працює на усіх робочих режимах ГПА. Функції переключення на аналітичне значення параметра при втраті чи недостовірності його вимірювання активується окремо для кожного параметра.

Система ДАК має складатися з блоків ідентифікації, аналітики та логіки.

Блок ідентифікації емпірично уточнюватиме аналітичні залежності критичних параметрів від параметрів-аргументів під час налагодження та дослідної експлуатації ДАК ГПА та після істотних змін у технології ГПА (наприклад, заміна або повернення з капітального ремонту ГТД). Аналітичний блок постійно обчислюватиме аналітичні значення критичних параметрів через вимірювані значення параметрів-аргументів та контролюватиме:

- вихід вимірюваних значень критичних параметрів та параметрів-аргументів за нормовані межі вимірювання, що свідчить про порушення каналів вимірювання ;
- нефізичні динамічні зміни вимірюваних значень критичних параметрів та параметрів-аргументів (поява шуму в сигналі), що свідчить про порушення каналів вимірювання;
- відхилення вимірюваних значень критичних параметрів від їх аналітичних значень, що свідчить про метрологічні відмови каналів вимірювання;
- невідповідність зміни значень сигналізаторів стану кранів значенням, пов'язаних зі станом крану аналогових параметрів для уникнення хибного діагностування незрушень, непереключень та несанкціонованих (не за командами САК ГПА) переключень кранів.

Логічний блок ДАК має виконувати такі функції:

- обслуговує команди та налаштування, виконувані оператором (встановлення уставок максимального відхилення, вибіркочку активацію/деактивацію алгоритму для

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

окремих параметрів, зняття ознак недостовірності після усунення відмов та примусове встановлення ознак недостовірності окремих параметрів);

- за результатами роботи аналітичної частини, у випадку діагностування відмов каналів вимірювання критичних параметрів і параметрів-аргументів, або за ручними командами примусового встановлення недостовірності будь-яких каналів вимірювання формує ознаки недостовірності виміряних значень відповідних параметрів;

- для активованих критичних параметрів з ідентифікованою недостовірністю їх вимірювання посилає на входи алгоритмів захисту та регулювання їх аналітичні значення замість виміряних (ручне встановлення ознаки недостовірності для критичного параметра викликає таку заміну без врахування ознаки активації для нього);

- якщо сформована недостовірність параметра-аргументу, то встановлює недостовірність аналітичного значення відповідного критичного параметра;

- якщо недостовірність встановлена для аналітичного значення вимірюваного критичного параметра, то знімає активацію для нього;

- якщо недостовірність встановлена для основного аналітичного значення розрахункового (не вимірюваного) критичного параметра, то посилає на входи алгоритмів захисту та регулювання значення, одержані дублюючим розрахунком (зняття недостовірності основного аналітичного значення призводить до зворотного переключення);

- якщо недостовірність встановлена також для дублюючого аналітичного значення розрахункового (не вимірюваного) критичного параметра, то фіксує останнє перед встановленням розраховане значення;

- для не розраховуваних аналітичних параметрів з примусово встановленою недостовірністю фіксуватиме останнє перед встановленням виміряне значення.

Як математичний апарат для використання у системах ДАК КЦ вважаємо за доцільне використання технології нейронних мереж, що дозволить скористатися корисними властивостями та суттєвими перевагами над іншими, раніше використовуваними методами обчислень.

Використання нейронних мереж забезпечить такі корисні властивості систем:

1. Нелінійність. Штучні нейрони можуть бути лінійними і нелінійними. Нейронні мережі, побудовані зі з'єднань нелінійних нейронів, самі є нелінійними. Більш того, ця нелінійність особливого сорту, оскільки вона розподілена по мережі. Нелінійність є надзвичайно важливою властивістю, особливо якщо сам фізичний механізм, який відповідає за формування вхідного сигналу, теж є нелінійним (наприклад, ГПА).

2. Відображення вхідної інформації у вихідну. Однією з популярних парадигм навчання є навчання з учителем. Це має на увазі зміну синаптичних ваг на основі набору маркованих навчальних прикладів. Кожен приклад складається з вхідного сигналу і відповідного йому бажаного відгуку. З цієї безлічі випадковим чином вибирається приклад, а нейронна мережа модифікує синаптичні ваги для мінімізації розбіжностей бажаного вихідного сигналу і формованого мережею відповідно до обраного статистичного критерію. При цьому власне модифікуються вільні параметри мережі, раніше використані приклади можуть згодом бути застосовані знову, але вже в іншому порядку. Це навчання проводиться доти, поки зміни синаптичних ваг не стануть незначними. Таким чином, нейронна мережа навчається на прикладах, складаючи таблицю відповідностей «ВХІД-ВИХІД» для конкретного завдання.

Для прикладу розглянемо задачу класифікації відмов. У ній потрібно співвіднести вхідний сигнал, який представляє фізичне явище, або подію, з деякою визначеною категорією (класом відмови). При непараметричному підході до цієї задачі потрібно «оцінити» межі рішення у просторі вхідного сигналу на основі набору прикладів. При цьому не використовується ніяка імовірнісна модель розподілу.

Аналогічний підхід застосовується і в парадигмі навчання з учителем. Це ще раз підкреслює паралель між відображенням вхідних сигналів у вихідні, здійснюваним нейронною мережею, і непараметричним, статистичними навчанням.

3. Адаптивність. Нейронні мережі мають здатність адаптувати свої синаптичні ваги до змін навколишнього середовища. Зокрема, нейронні мережі, навчені діяти в певному середовищі, можуть бути легко перенавчені для роботи в умовах незначних коливань параметрів середовища. Більш того, для роботи в нестационарному середовищі (де статистика змінюється з плином часу) можуть бути створені нейронні мережі, що змінюють синаптичні ваги в реальному часі. Природна для класифікації образів, обробки сигналів і завдань управління архітектура нейронних мереж, може бути об'єднана з їх здатністю до адаптації, що призведе до створення моделей адаптивної класифікації образів, адаптивної обробки сигналів і адаптивного управління. Відомо, що чим вище адаптивні здібності системи, тим більш стійкою буде її робота в нестационарному середовищі.

4. Очевидність відповіді. У контексті завдання класифікації відмов можна розробити нейронну мережу, що збирає інформацію не тільки для визначення конкретного класу, але і для збільшення вірогідності прийнятого рішення. Згодом ця інформація може використовуватися для виключення сумнівних рішень, що підвищить продуктивність нейронної мережі.

5. Контекстна інформація. Знання подаються у самій структурі нейронної мережі за допомогою її стану активації. Кожен нейрон мережі потенційно може бути схильний до впливу всіх інших її нейронів. Як наслідок, існування нейронної мережі безпосередньо пов'язано з контекстною інформацією.

6. Відмовостійкість. Нейронні мережі, представлені у формі електроніки, потенційно відмовостійкі. Це означає, що за несприятливих умов їхня продуктивність падає незначно. Наприклад, якщо пошкоджений якийсь нейрон або його зв'язок, витягування запам'ятовувальної інформації ускладнюється. Однак, беручи до уваги розподілений характер зберігання інформації в нейронній мережі, можна стверджувати, що тільки серйозні пошкодження структури нейронної мережі істотно вплинуть на її працездатність. Тому зниження якості роботи нейронної мережі відбувається повільно. Незначне пошкодження структури ніколи не викликає катастрофічних наслідків. Це очевидна перевага, однак її часто не враховують. Щоб гарантувати відмовостійкість роботи нейронної мережі, в алгоритми навчання потрібно закладати відповідні поправки.

7. Масштабованість. Паралельна структура нейронних мереж потенційно прискорює рішення деяких завдань і забезпечує масштабованість нейронних мереж у межах технології VLSI (very large scale integrated). Одним з переваг технологій VLSI є можливість представити досить складну поведінку за допомогою ієрархічної структури.

8. Нейронні мережі є універсальним механізмом оброблення інформації. Це означає, що ту саме проектне рішення нейронної мережі може використовуватися в багатьох предметних галузях. Ця властивість проявляється декількома способами. Нейрони в тій чи іншій формі є стандартними складовими частинами будь-якої нейронної мережі. Ця спільність дозволяє використовувати ті ж самі теорії й алгоритми навчання в різних нейромережевих додатках. Модульні мережі можуть бути побудовані на основі інтеграції цілих модулів.

9. Аналогія з нейробиологією. Будова нейронних мереж визначається аналогією з людським мозком, який є живим доказом того, що відмовостійкі паралельні обчислення не тільки фізично реалізовані, але і є швидким, і потужним інструментом вирішення завдань. Нейробиологи розглядають штучні нейронні мережі як засіб моделювання фізичних явищ. З іншої сторони, інженери постійно намагаються почерпнути у нейробиологів нові ідеї, що виходять за межі традиційних електросхем.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У математичному поданні функціонування нейрона k можна описати такою парою рівнянь:

$$u_k = \sum_{j=1}^m \omega_{kj} \cdot x_j; \quad (1)$$

$$y_k = \phi(u_k + b_k); \quad (2)$$

$$v_k = u_k + b_k, \quad (3)$$

де x_j – вхідні сигнали; ω_{kj} – синаптичні ваги нейрона k ; u_k – лінійна комбінація вхідних впливів; b_k – поріг; ϕ – функція активації; v_k – вихідний сигнал нейрона. Використання порогу b_k забезпечує ефект трансформації, виходу лінійного суматора u_k . Поріг b_k є зовнішнім параметром штучного нейрона k . Його присутність ми бачимо у виразі (2). Беручи до уваги вираз (3), формули (1), (2) можна перетворити до такого вигляду:

$$u_k = \sum_{j=0}^m \omega_{kj} \cdot x_j; \quad (4)$$

$$y_k = \phi(v_k). \quad (5)$$

У вираз (4) додається новий синапсис. Його вихідний сигнал дорівнює:

$$x_0 = +1,$$

а його вага:

$$\omega_{k0} = b_k.$$

Функції активації, представлені у формулах $\phi(v)$, визначають вихідний сигнал нейрона залежно від індукційного локального поля v .

Функція єдиного стрибка, чи порогова функція:

$$\phi(v) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v \geq 0; \\ 0, & \text{якщо } v < 0. \end{cases} \quad (6)$$

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_k \geq 0; \\ 0, & \text{якщо } v_k < 0; \end{cases} \quad (7)$$

де v_k – індукційоване локальне поле нейрона, тобто

$$v_k = \sum_{j=1}^m \omega_{kj} x_j + b_k. \quad (8)$$

Шматочно-лінійна функція. Шматочно-лінійна функція, описується таким виразом:

$$\phi(v) = \begin{cases} 1, & v \geq +\frac{1}{2}; \\ |v|, & +\frac{1}{2} > v; \\ 0, & v \leq -\frac{1}{2}, \end{cases} \quad (9)$$

де коефіцієнт посилення в лінійній області оператора передбачається рівним одиниці. Цю функцію активації можливо розглядати як апроксимацію нелінійного посилення.

Сигмоїдальна функція, графік якої нагадує букву S, являє собою найбільш розповсюджену функцію, використовувану для створення штучних нейронних мереж. Це швидко зростаюча функція, яка підтримує баланс між лінійною і нелінійною поведінкою. Прикладом сигмоїдальної функції може служити логістична функція, яка задається таким виразом:

$$\phi(v) = \frac{1}{1 + \exp(-av)}, \quad (10)$$

де a – параметр нахилу сигмоїдальної функції. Змінюючи цей параметр, можливо побудувати функції різної крутизни.

Область значень функції активації визначається формулами (8), (11) та (12), являє собою відрізок від 0 до +1. Але інколи потрібна функція активації, яка має область значень від -1 до +1. У цьому випадку функція активації повинна бути симетричною відносно початку координат. Порогову функцію в цьому випадку можна визначити таким чином:

$$\phi(v) = \begin{cases} 1, & v > 0; \\ 0, & v = 0; \\ 0, & v < 0. \end{cases} \quad (11)$$

Ця функція зазвичай називається сигнум. У такому випадку сигмоїдальна функція буде мати форму гіперболічного тангенса:

$$\phi(v) = \tan(v). \quad (12)$$

Модель нейрона – детермінічна. Це означає, що перетворення вхідного сигналу у вихідний точно визначено для всіх значень сигналу. Але в деяких випадках краще використовувати стохастичні нейромережеві моделі, в яких функція активації має вірогіднісну інтерпретацію. В таких моделях нейрон може знаходитись в одному з двох станів: +1 чи -1. Рішення про переключення стану нейрона приймається з вірогідності цієї події. Позначимо стан нейрона символом x , а вірогідність активації нейрона – $P(v)$, де v – індукційне локальне поле нейрона. Тоді:

$$x = \begin{cases} +1, & \text{з вірогідністю } p(v); \\ -1, & \text{з вірогідністю } 1 - p(v). \end{cases} \quad (13)$$

Вірогідність $p(v)$ описується сигмоїдальною функцією такого вигляду:

$$p(v) = \frac{1}{1 + \exp(-v/T)}, \quad (14)$$

де T – це аналог температури, використовуваний для керування рівнем шуму, таким чином ступенем невизначеності перемикачання. При цьому важливо зауважити, що T – не описує фізичну температуру нейронної мережі. Параметр T управляє термальними флуктаціями, являючи собою ефект синоптичного шуму. Зазначимо, якщо параметр T прагне до нуля, то стохастичний нейрон набере детермінованої форми (без увімкнення шуму) нейрона Мак-Каллока-Питца.

Висновки і пропозиції. Забезпечення ефективної та безперебійної роботи газоперекачувальних агрегатів є важливим завданням газотранспортної промисловості. Досягнення необхідних показників вимагає використання комплексів методологічного та програмного забезпечення для виявлення несправностей ГПА.

Запропоновано рекомендації щодо створення нових, сучасних ДАК, нових методів на базі попереднього досвіду роботи з існуючими методами [15]. Зроблено аналіз високоефективних методів діагностування. Запропоновано схему роботи інтелектуальної системи прийняття рішення для діагностики, яка дозволить на основі параметрів агрегата своєчасно виявляти відмови в роботі пристроїв, аналізаторів, каналів зв'язку, що призводить до підвищення безпеки праці, забезпечить своєчасний ремонт і технічне обслуговування установки. Крім того, встановлення причин несправності підвищує ймовірність усунення допущених у ході експлуатації порушень або виявлення заводських та інших дефектів у деталях обладнання та устаткування.

Список використаних джерел

1. Байков И. Р. Моделирование технологических процессов трубопроводного транспорта нефти и газа / И. Р. Байков, Т. Г. Жданова, Э. А. Гареев. – Уфа, 1994. – 127 с.
2. Белоконь Н. И. Газотурбинные установки на компрессорных станциях магистральных газопроводов / Н. И. Белоконь, Б. П. Поршаков. – М. : Недра, 1969. – 109 с.
3. Блехман И. И. Вибрационная механика / И. И. Блехман. – М. : Наука, 1994. – 394 с.
4. Диментберг М. Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний / М. Ф. Диментберг. – М. : Наука, 1980. – 368 с.
5. Зарицкий С. П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинными приводами / С. П. Зарицкий. – М. : Недра, 1987. – 198 с.
6. Кеба И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей / И. В. Кеба. – М. : Транспорт, 1980. – 248 с.
7. Кудашев Э. Р. Идентификация неисправностей газоперекачивающего агрегата методом «слабых резонансов» / Э. Р. Кудашев, В. А. Иванов, А. С. Семенов // Мегапаскаль : сб. науч. тр. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2005. – Вып. 1. – С. 57–61.
8. Кунина П. С. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с центробежными нагнетателями / П. С. Кунина, П. П. Павленко. – Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 2001. – 362 с.
9. Микаэлян Э. А. Техническое обслуживание газотурбинных газоперекачивающих агрегатов / Э. А. Микаэлян // Методология, исследования, анализ, практика. – М. : РГУнефти и газа им. Губкина И.Н., 1998. – С. 318.
10. Микаэлян Э. А. Эксплуатация газотурбинных газоперерабатывающих аппаратов компрессорных станций, газопроводов / Э. А. Микаэлян. – М. : Недра, 1994. – 304 с.
11. Сиротин Н. Н. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей / Н. Н. Сиротин, Ю. М. Коровин. – М. : Машиностроение, 1979. – 272 с.
12. Смородов Е. А. Применение методов линейного программирования к расчету коэффициентов технического состояния газоперекачивающих агрегатов / Е. А. Смородов, С. В. Китаев // Газовая промышленность. – 2000. – № 5. – С. 29–31.
13. Учет технического состояния газотурбинной установки при определении ее рабочей мощности / А. А. Кибарин, Т. В. Ходанова, А. С. Касимов, И. В. Мартынов, Ю. М. Перегудов // Вестник Евразийского инновационного университета. – 2010. – № 4 (40). – С. 25–27.
14. Харионовский В. В. Надежность и диагностика газопроводов / В. В. Харионовский // Газовая промышленность. – 1997. – № 3. – С. 10–12.
15. Хенли Д. Надёжность технических систем и оценка риска / Д. Хенли, Х. Кумамото. – М. : Мир, 1987. – 528 с.
16. Эпифанов С. В. Определение тяги ГТД с учётом изменения состояния проточной части / С. В. Эпифанов, М. В. Шевченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 10. – С. 184–189.

References

1. Baikov, I.R., Zhdanova, T.G., Gareev, E.A. (1994). *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov truboprovodnogo transporta nefi i gaza* [Modelling of technological processes of pipeline oil and gas transport]. Ufa (in Russian).
2. Belokon, N.I., Porshakov, B.P. (1969). *Gazoturbinnye ustanovki na kompressornykh stantciakh magistralnykh gazoprovodov* [Gas turbines at compressor stations of the main gas pipelines]. Moscow: Nedra (in Russian).
3. Blekhan, I.I. (1994). *Vibratsionnaia mekhanika*. [Vibrational Mechanics]. Moscow: Nauka (in Russian).
4. Dimentberg, M.F. (1980). *Nelineinye stokhasticheskie zadachi mekhanicheskikh kolebanii* [Nonlinear stochastic problems of mechanical vibrations]. Moscow: Nauka (in Russian).
5. Zaritckii, S.P. (1987). *Diagnostika gazoperekachivaiushchikh agregatov s gazoturbinnymi privodami* [Diagnostic of gastransmitted agrigates with gasturbine drive unit]. Moscow: Nedra (in Russian).
6. Keba, I.V. (1980). *Diagnostika aviatcionnykh gazoturbinykh dvigatelei* [Diagnostic of aviatcional gasturbine engines]. Moscow: Transport (in Russian).

7. Kudashev, E.R., Ivanov, V.A., Semenov, A.S. (2005). *Identifikatsiia neispravnostei gazoperekachivaiushchego agregata metodom «slabykh rezonansov» [Fault identification of a pumping unit by “weak resonances” method]*. Megapaskal. Tiumen: TiumGNGU, vol. 1, pp. 57–61 (in Russian).
8. Kunina, P.S., Pavlenko, P.P. (2001). *Diagnostika gazoperekachivaiushchikh arpegatov s tcentrobezhnymi nagnetateliymi [Diagnostic of gastransmitted agrigates with a centrifugal blower]*. Rostov-na-Donu, Izd-vo RGU (in Russian).
9. Mikaelian, E.A. (1998). *Tekhnicheskoe obsluzhivanie gazoturbinykh gazoperekachivaiushchikh agregatov. Metodologiya, issledovaniia, analiz, praktika [Maintenance of gasturbine gaspumping units. Methodology, research, analysis, practice]* Moscow: RGUnefit i gaza im. Gubkina I.N., p. 318 (in Russian).
10. Mikaelian, E.A. (1994). *Ekspluatatsiia gazoturbinykh gazopererabatyvaiushchikh apparatov kompressornykh stantsii, gazoprovodov [Operation of gasturbine gasprocessing units of compressor stations, pipelines]*. Moscow: Nedra (in Russian).
11. Sirotin, H.H., Korovin, Iu.M. (1979). *Tekhnicheskaiia diagnostika aviatcionnykh gazoturbinykh dvigatelei [Technical diagnostic of aviatcional gasturbine engines]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
12. Smorodov, E.A., Kitaev, C.B. (2000). *Primenenie metodov lineinogo programmirovaniia k raschetu koeffitsientov tekhnicheskogo sostoianiia gazoperekachivaiushchikh agregatov [Application of Linear Programming to the calculation of the coefficients of gas pumping units technical state]*. *Gazovaia promyshlennost – Gas Industry of Russia*, no. 5, pp. 29–31 (in Russian).
13. Kibarin, A.A., Khodanova, T.V., Kasimov, A.S., Martynov, I.V., Peregudov, Iu.M. (2010). *Uchet tekhnicheskogo sostoianiia gazoturbinoi ustanovki pri opredelenii ee rabochei moshchnosti [Accounting of the technical condition of the gas turbine unit while determining its operating capacity]*. *Vestnik Evraziiskogo innovatsionnogo universiteta – Journal of Innovative University of Eurasia*, no. 4 (40), pp. 25–27 (in Russian).
14. Kharionovskii, V.V. (1997). *Nadezhnost i diagnostika gazoprovodov [Reliability and diagnostics of gas pipelines]*. *Gazovaia promyshlennost – Gas Industry of Russia*, no. 3, pp. 10–12 (in Russian).
15. Khenli, D., Kumamoto, X. (1987). *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i otsenka riska [Reliability of technical system and risk assessment]*. Moscow: Mir (in Russian).
16. Epifanov, S.V., Shevchenko, M.V. (2009). *Opredelenie tiagi GTD s uchetom izmeneniia sostoianiia protochnoi chasti [Definition of gas turbine engine thrust, taking into account changes in the state of the running part]*. *Aviatcionno-kosmicheskaiia tekhnika i tekhnologiya – Aerospace technic and technology*, no. 10, pp. 184–189 (in Russian).

Литвин Олександр Олександрович – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Литвин Александр Александрович – аспірант кафедри информационных технологий программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Lytvyn Olexandr – PhD student of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: xpower4718@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5243-3970>

ResearcherID: J-1479-2016

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.4

*Юрій Фальченко, Лідія Петрушинець, Анатолій Устїнов, Тетяна Мельниченко,
Олег Новомлинець, Ірина Гусарова*

ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ У ВАКУУМІ ТОНКОЛИСТОВОГО НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ

*Юрий Фальченко, Лидия Петрушинец, Анатолий Устинов, Татьяна Мельниченко,
Олег Новомлинец, Ирина Гусарова*

ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ ТОНКОЛИСТОВОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

*Yurii Falchenko, Lidiia Petrushynets, Anatolii Ustinov, Tetiana Melnichenko,
Oleg Novomlynets, Irina Gusarova*

DIFFUSION WELDING IN VACUUM THIN SHEET OF NICKEL ALLOY

Наявність оксидного шару на поверхні жароміцних сплавів на основі нікелю, а також їх мала пластичність обумовлюють труднощі для схоплювання контактних поверхонь на стадії утворення фізичного контакту при дифузійному зварюванні у вакуумі. Для полегшення умов видалення оксидної плівки з поверхонь, що зварюються, і локалізації пластичної деформації у стикі необхідне застосування тонких пластичних прошарків. У ролі таких прошарків розглянуто багатошарові фольги. В роботі досліджено вплив хімічного складу пористих фольг Cu, Co, Ni на структуру зварних з'єднань жароміцних сплавів, отриманих з їх допомогою.

Ключові слова: дифузійне зварювання у вакуумі, Ni-Cr, багатошарові фольги, мікроструктура, мікроіндентування.

Рис.: 10. Табл.: 4. Бібл.: 8.

Наличие оксидного слоя на поверхности жаропрочных сплавов на основе никеля, а также их малая пластичность обуславливают трудности для схватывания контактных поверхностей на стадии образования физического контакта при диффузионной сварке в вакууме. Для облегчения условий удаления оксидной пленки со свариваемых поверхностей и локализации пластической деформации в стыке необходимо применение тонких пластичных прослоек. В качестве таких прослоек рассмотрены многослойные фольги. В работе исследовано влияние химического состава пористых фольг Cu, Co, Ni на структуру сварных соединений жаропрочных сплавов, полученных с их помощью.

Ключевые слова: диффузионная сварка в вакууме, Ni-Cr, многослойные фольги, микроструктура, микроиндентирование.

Рис.: 10. Табл.: 4. Библ.: 8.

The presence oxide layer on the surface of heat-resistant alloys based on nickel and their low ductility cause difficulties for setting the contact surfaces at the stage of physical contact during the diffusion welding in vacuum. To facilitate the conditions for the removal of oxide film from the surfaces to be welded and the localization of plastic deformation in the joint requires the use of thin plastic layers. As such layers are considered multilayer foil. The influence of the chemical composition of the porous foils Cu, Co, Ni on the structure of welded joints of high-temperature alloys, obtained through them.

Key words: diffusion welding in vacuum, Ni-Cr, multilayer foil, microstructure, microindentation.

Fig.: 4. Tabl.: 10. Bibl.: 8.

Постановка проблеми. Нікелеві сплави завдяки своїм високотемпературним властивостями можуть експлуатуватися при температурах, близьких до температури плавлення. Вони широко застосовуються у процесі виготовлення газових турбін, у космічних кораблях, ракетних двигунах, атомних реакторах, підводних човнах, парових теплоцентралях і нафтохімічному обладнанні [1]. Складність отримання з'єднань з жароміцних сплавів на основі нікелю методом дифузійного зварювання у вакуумі, перш за все, полягає в наявності на їх поверхнях термічно стійкого шару оксиду і низькій пластичності цієї групи матеріалів [2].

Аналіз досліджень і публікацій. У роботі [3] вказується, що наявність оксиду на полірованих поверхнях сплаву Inconel 718SPF не дозволяє отримати якісне з'єднання (температура зварювання $T_{зв} = 1000$ °С, тиск зварювання $P_{зв} = 7$ МПа, час зварювання $t_{зв} = 30$ хв), оскільки оксидна плівка відіграє роль бар'єра для дифузійних процесів у зоні з'єднання, перешкоджає формуванню загальних зерен.

Автори роботи [4] стверджують, що вирішальний вплив на високотемпературні властивості з'єднань нікелевих жароміцних сплавів здійснює температура зварювання. У роботі відзначається, що для зварювання сплаву ЖС6У необхідна температура вище 1000 °С, вона сприяє очищенню поверхонь, що зварюються, від оксидів хрому і нікелю. Високотемпературна міцність з'єднань, отриманих при температурі зварювання нижче 1200 °С, поступається міцності основного металу.

З метою зниження негативного впливу оксидів, а також інтенсифікації пластичної деформації в зоні з'єднання рекомендується використання проміжних прошарків. Наприклад, у роботі [3] поверхні сплаву Inconel 718SPF покривалися електролітичним шаром нікелю, що дозволило підвищити міцність з'єднання на зріз у 1,7 разу (до 70,4 МПа). Авторами [5] на прикладі нікелевого сплаву Udimet 700 показано, що застосування прошарку Ni-Co ($T_{зв} = 1191$ °С, $P_{зв} = 8,3$ МПа, $t_{зв} = 240$ хв) або електролітичного шару нікелю ($T_{зв} = 1171$ °С, $P_{зв} = 6,9$ МПа, $t_{зв} = 240$ хв, з подальшим старінням) товщиною $\delta = 5$ мкм, призводить до інтенсивної рекристалізації зони з'єднання з формуванням загальних зерен і гомогенізацією хімічного складу, при цьому міцність підвищуються до 90 % від основного матеріалу.

Виділення не вирішених раніше частин глобальної проблеми. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що поєднання високих параметрів дифузійного зварювання з застосуванням проміжних прошарків дозволяє отримати якісні з'єднання з жароміцних нікелевих сплавів. Однак описані технології розраховані на з'єднання масивних зразків і непридатні для тонких фольг.

Мета статті. Головною метою роботи є дослідити можливість отримання зварних з'єднань фольг з порошкового нікелевого сплаву.

Виклад основного матеріалу. У цій роботі досліджувалася можливість отримання з'єднань зі сплаву Ni-Cr (Ni – 20Cr – 3–4Fe – 0,40–0,6Al – 0,25–0,35Ti – 0,5Y, % вес.), отриманого методом порошкової металургії. Дифузійне зварювання у вакуумі зразків фольги товщиною $\delta = 25$ мкм проводили у вільному стані в умовах вакууму на установці У-394М, принципова схема якої докладно описана в [6].

Перед зварюванням зразки розміром 15x5x0,025 мм вирізали з фольги. Зварювання проводили внапуск з перекриттям, що дорівнює 5 мм. Для видалення оксидної плівки, обидві поверхні фольги зачищали на наждачному папері до металевого блиску, знежирували в ацетоні. Зварювання проводили в оснащенні з плоскопаралельними поверхнями (матриця і пуансон), виготовленому з легованої сталі. Параметри процесу зварювання були такі: температура зварювання $T_{зв} = 800 \dots 1200$ °С, тиск зварювання $P_{зв} = 20 \dots 40$ МПа, тривалість зварювання $t_{зв} = 20$ хв, вакуум у робочій камері підтримували на рівні $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па. Для забезпечення пластичної деформації в стику і полегшення умов формування фізичного контакту як проміжні прошарки застосовували пористі фольги з Cu, Co, Ni, отримані за технологією електронно-променевого випаровування і конденсації у вакуумі, що детально описана в роботі [7]. Вміст пор у прошарках становив близько 13 %. Загальна товщина прошарків 25–30 мкм.

Після зварювання вирізали зразки для проведення механічних випробувань на розтяг. Форма і розміри зразків вихідного матеріалу, а також зварних з'єднань з фольги сплаву Ni-Cr були такі: загальна довжина $L = 30$ мм, ширина $H = 11$ мм, товщина фольги $\delta = 25$ мкм, довжина робочої зони $l = 12,5$ мм, ширина робочої зони $h = 5$ мм, радіус при переході від захватів був $R = 3$ мм (рис. 1). Міцність з'єднань досліджували на стандартній машині МТС810.

Аналіз структурних характеристик фольги і зварних з'єднань проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа CAMSCAN 4, оснащеного системою енергодисперсійного аналізу Oxford Inca Energy 200 для визначення хімічного складу на пло-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ських зразках. Для цього за стандартною методикою з використанням шліфувально-полірувального устаткування фірми Struers були приготовлені шліфи поперечного перерізу фольги і зварних з'єднань.

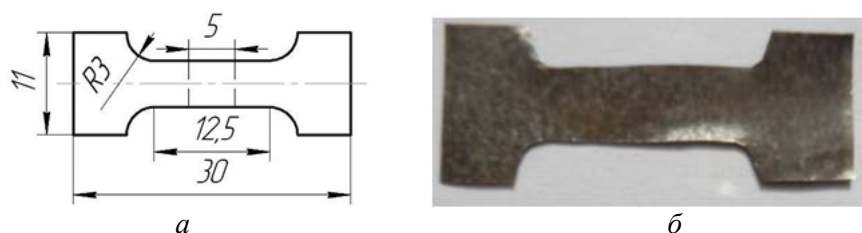
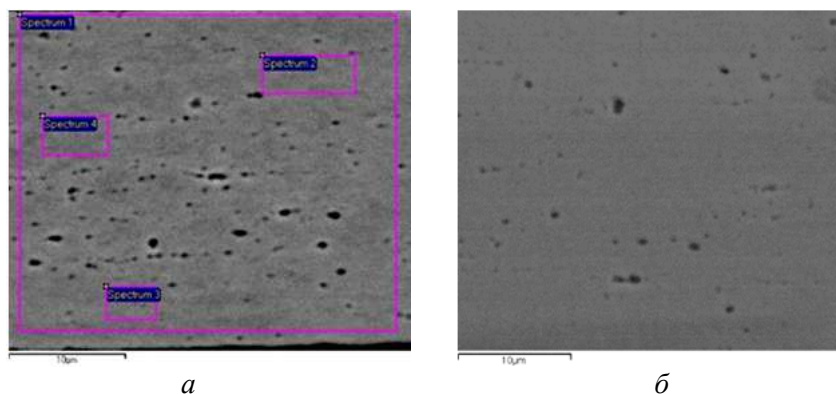


Рис. 1. Зразки для механічних випробувань на розтяг:
а – схема, б – зовнішній вигляд зразків з фольги сплаву Ni-Cr

Механічні властивості зварних з'єднань оцінювали методом автоматичного інденування площині поперечного перерізу зварних з'єднань із записом діаграми навантаження і розвантаження інденатора на установці «Мікрон-гамма» [8]. Для збільшення діапазону вимірювань дослідження проводилися під кутом 5 до 10 ° до зони з'єднання. В таблицях даних використані такі позначення: P – навантаження, гр; V – швидкість навантаження, гр / с; H – значення мікротвердості за Мейером; E – модуль Юнга, ГПа; $K_{\text{пласт}}$ – коефіцієнт пластичності.

На рис. 2, а показана мікроструктура Ni-Cr фольги у стані після прокатки. Методом мікроінденування встановлено, що у зразках вихідного матеріалу середнє значення мікротвердості дорівнює 3,754 ГПа, а значення модуля Юнга становить 139,8 ГПа. Відхилення модуля пружності дорівнює 4,6 %, що вказує на однорідність матеріалу, що досліджується, а також рівномірність розподілу пор по всьому поперечному перерізу фольги (табл. 1).



Вміст в % ваг.						
	Al	Ti	Cr	Fe	Ni	Y
pectrum 1	0,61	0,37	20,02	3,32	75,19	0,5
Spectrum 2	0,42	0,32	20,45	3,95	74,87	–
Spectrum 3	0,54	0,38	20,98	3,04	75,05	–
Spectrum 4	0,42	0,26	20,6	3,15	75,56	–

б

Рис. 2. Мікроструктура і хімічний склад фольги з жароміцного Ni-Cr сплаву в початковому стані (а, в), а також після відпалу ($T_{\text{відп}} = 1050$ °С, $P_{\text{відп}} = 5$ МПа, $t_{\text{відп}} = 5$ хв) в умовах вакууму (б)

Відпал зразків в умовах вакууму ($T_{\text{відп}} = 1050$ °С, $P_{\text{відп}} = 5$ МПа, $t_{\text{відп}} = 5$ хв) призводить до зниження значень мікротвердості в 1,6 разу, в порівнянні з матеріалом у початковому стані (до 2,293 ГПа) і до збільшення модуля Юнга до 148,7 ГПа. Збільшення модуля пружності може бути показником зниження загальної пористості матеріалу (рис. 2, б). Проте збільшення діапазону його значень до 7,1 % може вказувати на менш рівномірний характер розподілу пор по всьому поперечному перерізу фольги, в порівнянні зі зразком у початковому стані (табл. 2).

Таблиця 1

Результати автоматичного індентування зразків фольги NiCr у стані поставки

№ п/п	P, гр	V, гр/с	H	E, ГПа
1	20	2	4,014	135,6
2	20	2	4,046	138,4
3	20	2	3,830	134,1
4	20	2	3,437	137,5
5	20	2	3,773	154,2
6	20	2	3,584	135,7
7	20	2	3,593	142,9
Середнє значення	20	2	3,754	139,8

Таблиця 2

Результати автоматичного індентування зразків фольги NiCr після відпалу

 $(T_{відп} = 1050 \text{ }^\circ\text{C}, P_{відп} = 5 \text{ МПа}, t_{відп} = 5 \text{ хв})$

№ п/п	P, гр	V, гр/с	H	E, ГПа
1	20	2	2,389	137,0
2	20	2	2,605	139,3
3	20	2	2,230	151,5
4	20	2	2,237	162,8
5	20	2	2,254	144,8
6	20	2	2,100	140,6
7	20	2	2,239	165,0
Середнє значення	20	2	2,293	148,7

Вивчали вплив температури зварювання на структуру і мікромеханічні властивості зварних з'єднань.

На рис. 3 показана мікроструктура зварних з'єднань зразків нікелевого сплаву, виконаних без проміжних шарів на режимі: $T_{зв} = 800 \dots 1200 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_{зв} = 40 \text{ МПа}$, $t_{зв} = 20 \text{ хв}$. Встановлено, що зі збільшенням температури зварювання дефектність зони з'єднання зменшується. Однак навіть при $T_{зв} = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ у зоні з'єднання зберігається ланцюжок оксидів і пор, розташованих уздовж стику.

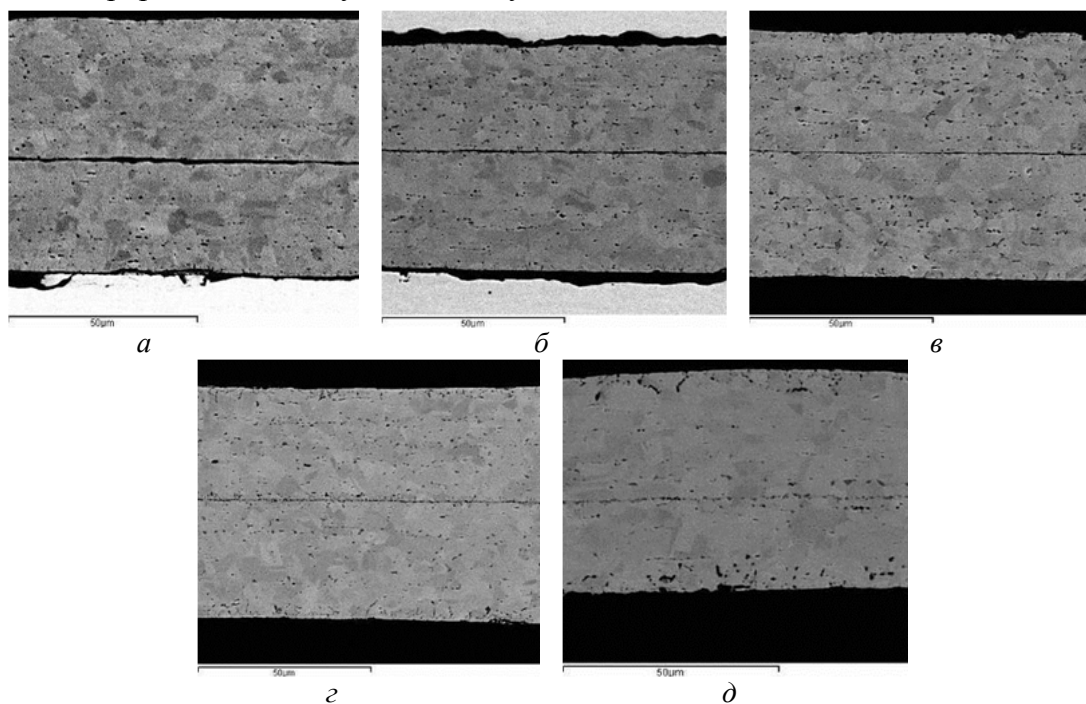
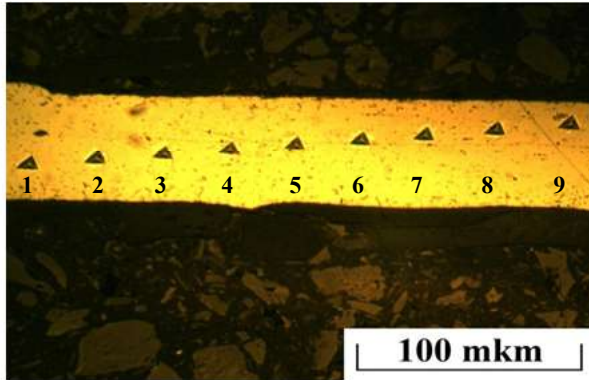


Рис. 3. Мікроструктура зони з'єднання зразків Ni-Cr + Ni-Cr, отриманих при $P_{зв} = 40 \text{ МПа}$, $t_{зв} = 20 \text{ хв}$, $T_{зв}$: а – 800 °C; б – 900 °C; в – 1000 °C; г – 1100 °C; д – 1200 °C

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

При зварюванні сплаву Ni-Cr без прошарків, мікротвердість зони з'єднання відповідає значенням, які характерні для відпаленого матеріалу $E = 110,7 \dots 125,8$ ГПа. Виходячи з результатів металографічних досліджень, а також поступового збільшення модуля Юнга до $E = 154,3$ ГПа можна зробити висновок, що вплив високих значень температури зварювання і тиску призводить, з одного боку, до коагуляції пор у фользі, а з іншого боку – до утворення значної пористості в зоні з'єднання. Середнє значення мікротвердості становить 2,659 ГПа, а модуля пружності – 129,7 ГПа (рис. 4).



№ з/п	P, гр	V, гр/с	H	E, ГПа
1	20	2	2,547	110,
2	20	2	3,029	1 7,1
3	20	2	2,750	112,6
4	20	2	2,689	121,4
5	20	2	2,804	125,8
6	20	2	2,403	131,1
7	20	2	2,519	140,4
8	20	2	2 707	143,5
9	20	2	2,487	154,3
Середнє значення	20	2	, 59	129,7

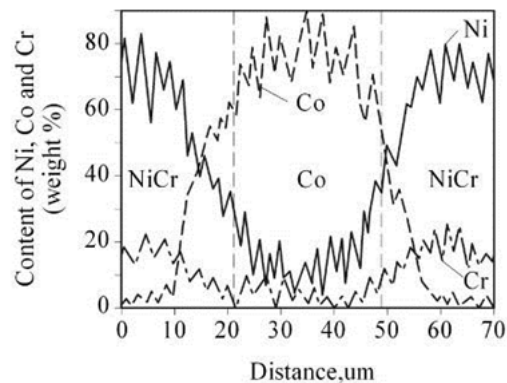
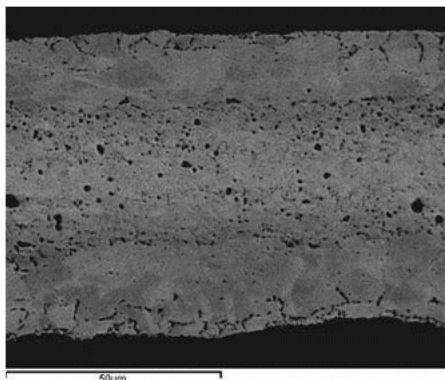
а

б

Рис. 4. Результати автоматичного інdentування зони з'єднання зразків фольги Ni-Cr ($T_{зв} = 1200$ °С, $P_{зв} = 40$ МПа, $t_{зв} = 20$ хв): а – відбитки, отримані під час інdentування; б – таблиця розрахунків

У подальших дослідженнях для активації дифузійних процесів застосовували проміжні прошарки з Cu, Co, Ni. Параметри дифузійної зварювання були наступні: $T_{зв} = 1200$ °С, $P_{зв} = 40$ МПа, $t_{зв} = 20$ хв.

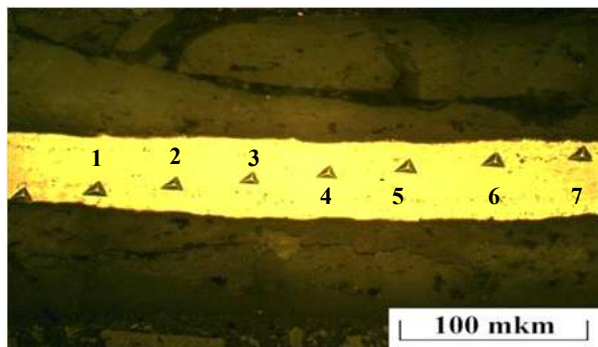
Встановлено, що застосування прошарків з Co призводить до утворення хімічної неоднорідності в зоні з'єднання і до розвитку значної пористості у стику, що може бути обумовлено ефектом Кіркендала (рис. 5). Глибина дифузії в зоні з'єднання нікелевого сплаву становить до 10 мкм. У проміжному шарі спостерігається невеликий вміст як нікелю, так і хрому (до 20 %). Застосування проміжного прошарку з пористого кобальту дозволяє підвищити мікротвердість зварного з'єднання до значень, близьких до вихідного матеріалу. Однак значна хімічна неоднорідність зони з'єднання призводить до утворення в центральній частині області з високим модулем Юнга $E = 152 \dots 179$ ГПа (рис. 6).



а

б

Рис. 5. Мікроструктура (а) і розподіл елементів (б) у з'єднанні, виконаному з застосуванням пористого прошарку з Co ($T_{зв} = 1200$ °С, $P_{зв} = 40$ МПа, $t_{зв} = 20$ хв)



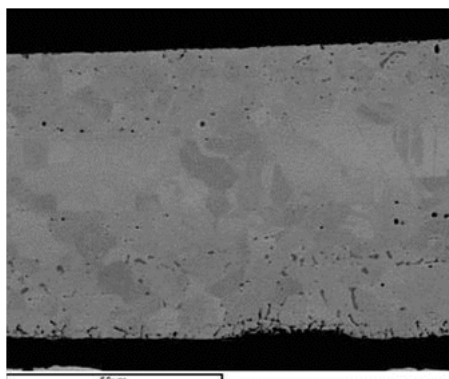
a

№ з/п	P, гр	V, гр/с	H	E, ГПа
1	20	2	3,366	138,3
2	20	2	2,959	136,0
3	20	2	3,086	152,1
4	20	2	3,282	155,7
5	20	2	3,6	179,6
6	20	2	3,149	163,3
7	20	2	2,689	151,3
Середнє значення	20	2	3,168	153,8

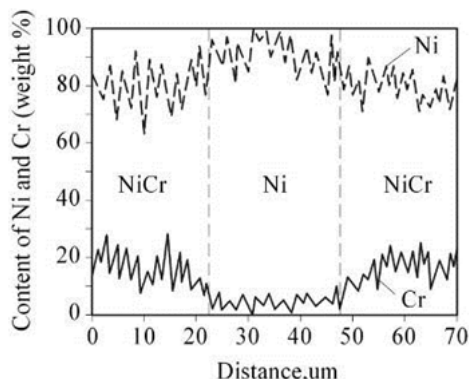
б

Рис. 6. Результати автоматичного індентування зони з'єднання зразків фольги Ni-Cr, отриманих через проміжний прошарок з пористого кобальту ($T_{зв} = 1200\text{ }^\circ\text{C}$, $P_{зв} = 40\text{ МПа}$, $t_{зв} = 20\text{ хв}$):
a – відбитки, отримані під час індентування; б – таблиця розрахунків

Застосування у процесі зварювання прошарку з Ні призводить до утворення у стикі зони шириною 20–25 мкм з низьким вмістом хрому (рис. 7). Мікроструктура цієї зони аналогічна сплаву Ni-Cr, але має меншу дефектність. На межі розділу прошарок/нікелевий сплав, дефекти у вигляді включень оксидів або пори відсутні. Залишкові пори спостерігаються у сплаві в областях, прилеглих до стикі. Мікротвердість з'єднань перебуває на такому рівні, як у відпаленого зразка (рис. 8). Збільшення значень модуля пружності спостерігається в зоні з'єднання, що свідчить про заліковування пор.

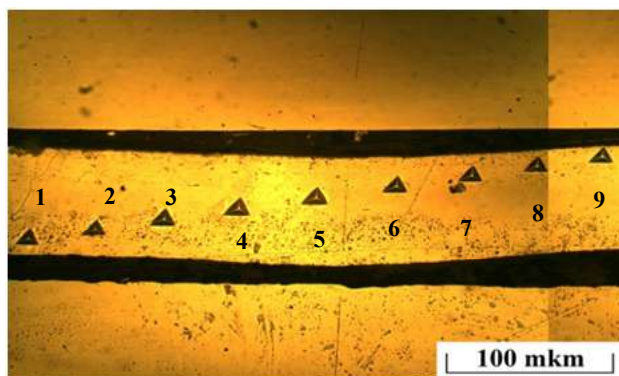


a



б

Рис. 7. Мікроструктура (a) и розподіл елементів (б) у з'єднанні, отриманого з застосуванням пористого прошарку з Ні ($T_{зв} = 1200\text{ }^\circ\text{C}$, $P_{зв} = 40\text{ МПа}$, $t_{зв} = 20\text{ хв}$)



a

№ з п	P, гр	V, гр/с	H	E, ГПа
1	20	2	2,226	111,8
2	20	2	2,282	136,2
3	20	2	2,423	161,2
4	20	2	2,285	153,1
5	20	2	2,015	151,8
6	2	2	2,057	170,6
7	20	2	2,145	160,4
8	20	2	2,709	159
9	20	2	2,241	144,2
Середнє значення	20	2	2,265	149,8

б

Рис. 8. Результати автоматичного індентування зони з'єднання зразків фольги Ni-Cr, отриманих через проміжний прошарок з пористого нікелю ($T_{зв} = 1200\text{ }^\circ\text{C}$, $P_{зв} = 40\text{ МПа}$, $t_{зв} = 20\text{ хв}$):
a – відбитки, отримані під час індентування; б – таблиця розрахунків

Зварювання з застосуванням прошарку з міді забезпечує рівномірний характер розподілу елементів у стикі і мінімальну кількість дефектів (рис. 9). Лінія контакту як

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

елемент структури у процесі зварювання зникає. Розподіл елементів свідчить про рівномірний розподіл Cr, Ni, Cu у зварному з'єднанні. Мікротвердість з'єднання знаходиться на рівні зразка після відпалу (рис. 10).

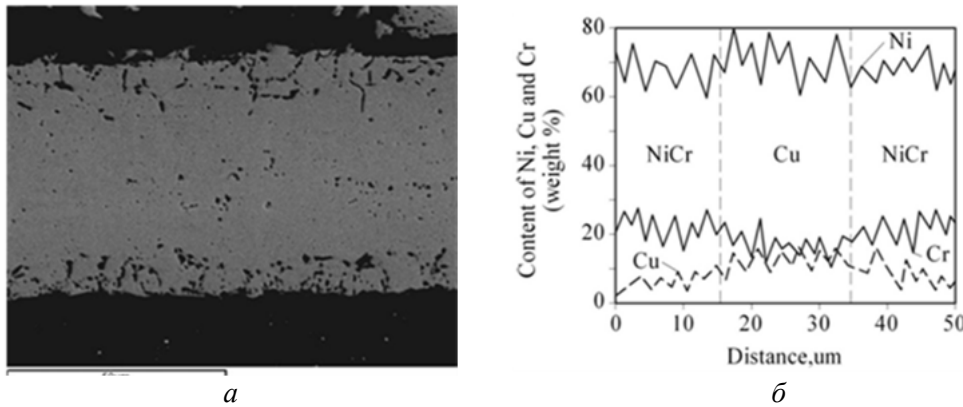
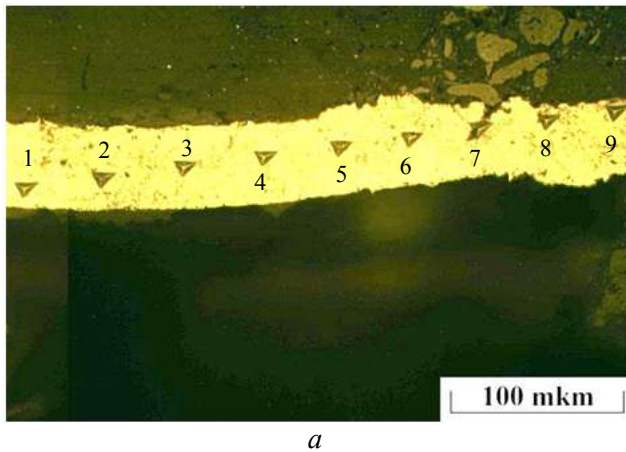


Рис. 9. Мікроструктура (а) и розподіл елементів (б) в з'єднанні, отриманого з застосуванням пористої прошарку з Cu ($T_{зв} = 1200\text{ }^\circ\text{C}$, $P_{зв} = 40\text{ МПа}$, $t_{зв} = 20\text{ хв}$)



№ з/п	P, гр	V, гр/с	H	E, ГПа
1	20	2	2,324	119,2
2	20	2	2,236	116,4
3	20	2	2,117	132,9
4	20	2	2,151	137,3
5	20	2	2,451	141,8
6	20	2	2,31	36,2
7	20	2	2,926	138,9
8	20	2	2,121	123,9
Середнє значення	20	2	2,330	130,8

Рис. 10. Результати автоматичного індентування зони з'єднання зразків фольги Ni-Cr, отриманих через проміжний прошарок з пористої міді ($T_{зв} = 1200\text{ }^\circ\text{C}$, $P_{зв} = 40\text{ МПа}$, $t_{зв} = 20\text{ хв}$):

а – відбитки, отримані при індентування; б – таблиця розрахунків

Оцінювання механічних властивостей зразків з фольги сплаву Ni-Cr проводили в початковому стані і після відпалу. Температура і час відпалу моделювали процес зварювання і становили: температура $T_{відп} = 1000\text{ }^\circ\text{C}$, час витримки протягом $t_{відп} = 20\text{ хв}$ відповідно. Встановлено, що міцність вихідного металу зі сплаву Ni-Cr дорівнює $\sigma_B = 405\text{ МПа}$ (табл. 3). Застосування відпалу призводить до зниження міцності матеріалу до $\sigma_B = 258\text{ МПа}$. Таким чином, міцність зразків після відпалу становить 63,7% від рівня міцності вихідного матеріалу.

Таблиця 3

Механічні властивості зразків з фольги сплаву Ni-Cr у початковому стані і після відпалу

Номер зразка	Тип зразка	σ_B , МПа	$\sigma_{B\text{ср}}$, МПа
1	Основний метал	440	405
2		400	
3		375	
1	Основний метал + відпал	260	258
2		215	
3		300	

Дослідження механічних властивостей зварних з'єднань (табл. 4) показали, що середня міцність зразків, отриманих із застосуванням пористої прошарку з нікелю, ста-

новить $\sigma_B = 108$ МПа. Виходячи з результатів металографічних досліджень, можна припустити, що отримані результати пов'язані з утворенням у стику зони, яка складається з чистого нелегованого нікелю, що, ймовірно, і призводить до зниження міцності зварного з'єднання. Середня міцність зразків, виготовлених із застосуванням пористого прошарку з кобальту, дорівнює $\sigma_B = 233$ МПа. Зразки, отримані із застосуванням проміжної прошарку з кобальту, характеризуються наявністю дефектів у зоні з'єднання як у вигляді пор, так і значною хімічною неоднорідністю в розподілі основних легуючих елементів. Застосування пористого прошарку з міді під час зварювання сплаву Ni-Cr дозволила отримати з'єднання із середнім значенням міцності $\sigma_B = 317$ МПа.

Таблиця 4

Механічні властивості зварних з'єднань

Номер зразка	Прошарок, мкм	Місце руйнування зразків		σ_B , МПа	$\sigma_{B\text{ ср}}$ МПа
		Основний метал	Зона з'єднання		
1	Ni	+	-	120	108
2		+	-	160	
3		-	+	45	
1	Co	+	-	200	317
2		+	-	310	
3		+	-	360	
4		+	-	400	
1	Cu	+	-	175	233
2		+	-	260	
3		-	+	-	
4		+	-	265	

Примітка: * – робота виконана в межах проекту LIGHT-TPS № 607182.

Висновки і пропозиції. Досліджено умови формування з'єднань тонких фольг з нікелевого сплаву методом дифузійного зварювання у вакуумі при застосуванні проміжних прошарків з Cu, Co, Ni. Показано, що фольги, отримані за технологією електронно-променевого випаровування і конденсації у вакуумі, сприяють інтенсифікації дифузійних процесів у стику, а також забезпечують формування зварних з'єднань.

Список використаних джерел

1. *Суперсплави II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок* / под ред. Симса Ч. Т., Столоффа Н. С., Хагеля У. К. ; пер. с англ. В 2 кн. Кн. 1 / под ред. Шалина Р. Е. – М. : Металлургия, 1995. – 384 с.
2. *Atkinson H. V. A Review of the Role of Short-Circuit Diffusion in the Oxidation of Nickel, Chromium, and Nickel-Chromium Alloys* / H. V. Atkinson // *Oxidation of Metals*. – 1985. – Vol. 24, № 3/4. – Pp. 177–197.
3. *Yeh M. S. Diffusion Bonding of a Superplastic Inconel 718SPF Superalloy by Electroless Nickel Plating* / M. S. Yeh, C. B. Chang, T. H. Chuang // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2000. – Vol. 9. – Pp. 51–55.
4. *Мусин Р. А. Диффузионная сварка жаропрочных сплавов* / Р. А. Мусин, В. Н. Анциферов, В. Ф. Квасницкий. – М. : Металлургия, 1979. – 208 с.
5. *Methods for Diffusion Welding the Superalloy Udimet 700* / D. S. Duvall, W. A. Owczarski, D. F. Paulonis, W. H. King // *Welding Research Supplement*. – 1972. – Vol. 2. – Pp. 41–49.
6. *Диффузионная сварка в вакууме сплава на основе γ -TiAl с использованием нанослойных прослоек* / Г. К. Харченко, А. И. Устинов, Ю. В. Фальченко [та ін.] // *Автоматическая сварка*. – 2011. – № 3. – С. 7–11.
7. *Устинов А. И. Закономерности формирования пористой структуры нержавеющей стали при ее осаждении из паровой фазы в присутствии паров хлористого натрия* / А. И. Устинов, К. В. Ляпина, Т. В. Мельниченко // *Спец. Электрометаллургия*. – 2005. – № 4. – С. 23–28.
8. *Уравнение индентирования* / С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский [та ін.] // *Доповіді Національної академії наук України*. – 2007. – № 12. – С. 100–106.

References

1. Sims, Ch.T., Stoloff, N.S. & Xagsel, U.K. (eds.) (1995). Supersplavy II: Zharoprochnnye materi-aly dlia aerokosmicheskikh i promyshlennykh energoustanovok [Superalloys: materials for aerocos-mic and industrial energyequipment]. Book 1. Moscow: Metallurgija (in Russian).
2. Atkinson, H.V. (1985). A Review of the Role of Short-Circuit Diffusion in the Oxidation of Nickel, Chromium, and Nickel–Chromium Alloys. *Oxidation of Metals*, vol. 24, № 3/4, pp. 177–197.
3. Yeh, M.S., Chang, C.B., Chuang, T.H. (2000). Diffusion Bonding of a Superplastic Inconel 718SPF Superalloy by Electroless Nickel Plating. *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 9, pp. 51–55.
4. Musin, R.A., Anciferov, V.N., & Kvasnickij, V.F. (1979). Diffuzionnaia svarka zharo-prochnykh splavov [Diffusion welding of heatproof alloys]. Moscow: Metallurgija (in Russian).
5. Methods for Diffusion Welding the Superalloy Udimet 700 (1972). *Welding Research Supple-ment*, vol. 2, pp. 41–49.
6. Harchenko, G.K., Ustinov, A.I. & Falchenko, Iu.V. (2011). Diffuzionnaia svarka v vakuume splava na osnove γ -TiAl s ispolzovaniem nanosloinykh prosloek [Diffusion welding in alloys' vacuum based on γ -TiAl with the usage of nanolayer layers] *Avtomaticheskaja svarka – Automatic Welding*, no. 3, pp. 7–11 (in Russian).
7. Ustinov, A.I., Liapina, K.V. & Melnichenko, T.V. (2005). Zakonomernosti formirovaniia po-ristoi struktury nerzhavejushhej stali pri ee osazhdenii iz parovoi fazy v prisutstvii parov khloristogo natriia [Regularity of formation of porous structure of stainless steel over its sedimentation with va-pours of muriate of soda]. *Spec. Elektrometallurgija*, no. 4, pp. 23–28 (in Russian).
8. Firstov, S.A., Gorban, V.F. & Pechkovskii, E.P. (2007). Uravnenie indentirovaniia [Equation of indentation]. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, no. 12, pp. 100–106 (in Russian).

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

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

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

E-mail: falchenko@paton.kiev.ua

Scopus Author ID: 7801687476

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

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

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

E-mail: moremia2@ukr.net

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

Устїнов Анатолїй Іванович – доктор фізико-математичних наук, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (вул. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Устинов Анатолий Иванович – доктор физико-математических наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Малевича, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Ustinov Anatolii – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine (11 Malevich Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

E-mail: ustinov3@yandex.ru

Scopus Author ID: 7102930399

Мельниченко Тетяна Всеволодівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (вул. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

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

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

E-mail: melnychenko1@mail.ru

Scopus: Author ID: 12802654100

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

Новомлинець Олег Александрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри сварочного виробництва і автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченко, 95, г. Чернігів, 14027, Україна).

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

E-mail: oon1@ukr.net

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

Scopus Author ID: 6507741249

Гусарова Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля (вул. Криворізька, 3, м. Дніпро, 49008, Україна).

Гусарова Ирина Александровна – кандидат технічних наук, конструкторське бюро «Южное» ім. М. К. Янгеля (ул. Криворожская, 3, г. Днепр, 49008, Україна).

Gusarova Irina – PhD in Technical Sciences, M. K. Yangel Yuzhnoye State Design Office (3 Krivorozhskaya Str., 49008 Dnipro, Ukraine).

E-mail: anya_mail_@inbox.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3431-2347>

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.327

Сергій Зайцев, Ольга Башинська, Юрій Камак, Борис Горлинський

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ СУЧАСНИХ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Sergey Zaitsev, Olga Bashinskaya, Yuri Camac, Borys Horlynskyi

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Sergey Zaitsev, Olga Bashinskaya, Yuri Camac, Borys Horlynskyi

RESEARCH METHODS OF INCREASING INFORMATION RELIABILITY OF CURRENT UNMANNED AVIATION SYSTEMS

Проведено аналіз існуючих методів підвищення достовірності передачі інформації від безпілотного літака-розвідника до наземної станції прийому інформації, що були отримані під час проведення натурних експериментів безпілотних авіаційних комплексів.

Ключові слова: модуляція, сигнал, канал радіозв'язку, безпілотний авіаційний комплекс.

Рис.: 10. Бібл.: 6.

Проведен анализ существующих методов повышения достоверности передачи информации от беспилотного самолета-разведчика к наземной станции приема информации, которые были получены при проведении натурных экспериментов беспилотных авиационных комплексов.

Ключевые слова: модуляция, сигнал, канал радиосвязи, беспилотный авиационный комплекс.

Рис.: 10. Библ.: 6.

The paper analyzes the existing methods of improving the reliability of information transmission from unmanned spy drone to ground station to receive information that was obtained during the field study unmanned aircraft systems.

Keywords: modulation, signal, channel radio communication, unmanned aerial system.

Fig.: 10. Bibl.: 6.

Актуальність теми дослідження. Аналіз існуючих тенденцій розвитку авіаційного озброєння впевнено показує, що нині і в близькому майбутньому багато уваги спеціалістів повинно приділятися створенню та удосконаленню високоточної «інтелектуальної» зброї, яка забезпечує ефективне ураження цілей за будь-яких умов, незалежно від протидії супротивника, у тому числі за допомогою активних завад.

Постановка проблеми. Найуразливіше місце безпілотного авіаційного комплексу – це необхідність постійного обміну інформацією з наземними станціями прийому. Великий обсяг передачі даних по каналам радіозв'язку призводить до того, що дуже проблематично забезпечити високий рівень достовірності передачі інформації завдяки впливу завад істотного та навмисного походження [1]. Постає важлива прикладна задача вибору варіанта безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), перевірки цього варіанта на відповідність заявлених продавцем характеристик реальним характеристикам зразка, особливо засобів передачі інформації між безпілотним літальним апаратом (БпЛА) та наземною приймаючою станцією, а також дослідження методів підвищення достовірності передачі даних цих БпАК. Саме аналізу проблеми підвищення достовірності передачі даних присвячена ця стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Весь арсенал останніх досягнень щодо вирішення навігаційних завдань, таких як GPS/ГЛОНАСС технологій, машинний зір, безплатформенні інерційні системи, мікромеханіка і т. ін. можуть і повинні бути використані для вдосконалення засобів оснащення, у першу чергу, для створення безпілотних маневрених літальних апаратів [1].

У сучасній бойовій ситуації безпілотні авіаційні комплекси є більш ефективними в порівнянні з пілотованими літаками-розвідниками, які виконують завдання тактичної повітряної розвідки та радіоелектронної боротьби, цілевказівок та корегування вогню всіх бойових засобів, бойового управління та зв'язку, метеорологічної, радіаційної та біологічної розвідки без ризику для особового складу в інтересах командування різних видів збройних сил [2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні існують різноманітні засоби радіоелектронної протидії передачі інформації з БпАК. Для зменшення достовірності інформації БпАК супротивником застосовуються станції (комплекси) активних завад, основними серед яких є: Р – 934Б, Р – 330Т, Р – 378А тощо. Ці засоби радіотехнічної протидії випромінюють потужні навмисні завади (шумова загороджувальна завада, шумова завада у частині смуги, завади у відповідь, ретрансльована завада та інші), які значно знижують характеристики достовірності інформації.

Існуючі методи підвищення достовірності передачі інформації у БпАК не в повному обсязі відповідають сучасним вимогам завдяки використанню при побудові БпАК та БпЛА технологій потужного завадостійкого кодування в поєднанні з методами розширення спектру сигналу та сигнальних конструкцій.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є визначення основних методів підвищення достовірності інформації в сучасних БпАК та БпЛА, а також напрямів підвищення характеристик достовірності передачі інформації.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо деякі варіанти модуляції сигналу від БпЛА до наземної станції на прикладі таких комплексів:

1. У БпАК «Silent Falcon» використовується квадратурно-амплітудна модуляція (КАМ, англ. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)) – різновид амплітудної модуляції сигналу, яка являє собою суму двох несучих коливань однієї частоти, але зміщених за фазою одне відносно іншого на 90° , кожне з яких промодульоване за амплітудою своїм модулюючим сигналом [3]:

$$S(t) = I(t)\cos(2\pi f_0 t) - Q(t)\sin(2\pi f_0 t),$$

де $I(t)$ та $Q(t)$ – моделюючі сигнали;

f_0 – частота-носій.

2. У БпАК «APUS» використовують декілька видів модуляцій:

– на частоті 400-660 МГц – квадратурно-фазова модуляція (КФМ, англ. Quadrature phase-shift keying (QPSK)): перетворення цифрового сигналу за допомогою одного з видів фазової модуляції [4];

– на частоті 900-910 МГц – гауссівська частотна модуляція (англ. Gaussian Frequency-Shift Keying, GFSK) – одна з видів FSK маніпуляції, яка використовує гауссівський фільтр для згладжування позитивних/негативних відхилень частоти, які являють собою двійкові «1» або «0»;

– на частоті 2400 МГц – модуляція QAM16, яка є різновидом квадратурно-амплітудної модуляції. У цій модуляційній схемі вхідні цифрові дані поділяються на два потоки. Кожен потік перетворює (модулює) сигнал-носій, зазвичай синусоїду, змінюючи її амплітуду відповідно до схеми модуляції. Синусоїда одного потоку є зміщеною по фазі відносно другої на 90° . Далі два потоки підсумовуються й утворюється один аналоговий сигнал. Кожні 4 біти вхідного цифрового потоку розділяються на два по 2 біти кожний. Відповідно, 4-бітне число представляється точкою на двовимірній площині, в якій кожен вимір відповідає сигналу-носію.

3. У БпАК «PD-1» також використовують декілька видів модуляцій:

– на частоті 310-390 МГц – GFSK;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

– на частоті 575 МГц – ортогонально-частотне розділення каналів з кодуванням (базове з усуненням помилок за рахунок субточності телеспівщення) COFDM 16QAM.

На прикладі наступних двох БпАК розглянемо методи передачі інформації до наземної станції прийому.

Для виміру характеристик каналу радіозв'язку обох БпАК використовувався аналізатор спектра Advantest U3772 сумісно з рупорною каліброваною антеною Rohde & Schwarz HF906.

У БпАК «НАВК» радіолінія «борт-земля», «земля-борт» реалізована цифровим каналом радіозв'язку типу Radio-Ethernet 2,3 ГГц, як широкопasmовий радіодоступ між БпЛА та наземним обладнанням комплексу. В системі використовується модуляція з методом канального кодування – COFDM [5].

Система зв'язку дозволяє:

- завантажувати в автопілот БпЛА польотне завдання;
- змінювати польотне завдання у ході виконання місії;
- отримувати по закритому протоколу на модулі наземної станції управління (МНСУ) в режимі реального часу відеоінформацію та телеметричну інформації (координати, висоту, швидкість, пройдено відстань, курс) з БпЛА;
- проводити аналіз відеоінформації після виконання польотного завдання.

Система зв'язку БпАК передбачає можливість використання алгоритму блочного шифрування Advanced Encryption Standard (AES) з довжиною ключа 128 біт.

Оператор БпАК «НАВК» має можливість зміни номера каналу зв'язку (частоти несучої сигналу радіоканалу) в межах діапазону частот 2,305–2,375 ГГц як у ході складання польотного завдання, так і у ході виконання польоту БпЛА. Загальна кількість каналів – 15.

У ході проведення випробувань БпАК «НАВК» доведена можливість зміни функціональних параметрів каналу зв'язку, а саме:

- зміни номера каналу зв'язку;
- ввімкнення (вимкнення) режиму шифрування;
- виключення передачі відео з БпЛА в режимі реального часу.

У разі зміни частоти каналу зв'язку відбувається перерва зв'язку до 20 секунд.

Архітектура побудови системи зв'язку БпАК «НАВК» передбачає (у разі необхідності) використання додаткових МНСУ та ретрансляторів, інформаційний обмін між якими здійснюється мережею Інтернет.

Автоматичне юстування антени дальньої зони дії на БпЛА поворотним пристроєм у БпАК не передбачене.

Аналіз спектрограм, отриманих у ході демонстраційних польотів (рис. 1–3), свідчить про таке:

– відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), канал зв'язку БпАК працює у частотному діапазоні загального користування, у смузі радіочастот, що класифікується як «Фіксована рухома Аматорська Радіолокаційна»;

– частота несучої випромінювання передавача на час проведення вимірів становила 2,3340 ГГц (рис. 1);

– частота роботи радіоканалу БпАК знаходиться в межах заявленого виробником діапазону частот 2,305–2,375 ГГц;

– енергетичне заповнення спектра сигналу в смузі пропускання каналу зв'язку рівномірне, без суттєвих провалів (рис. 1);

– смуга пропускання каналу зв'язку на рівні 99 % потужності становить 8,44 МГц (рис. 2, 3).

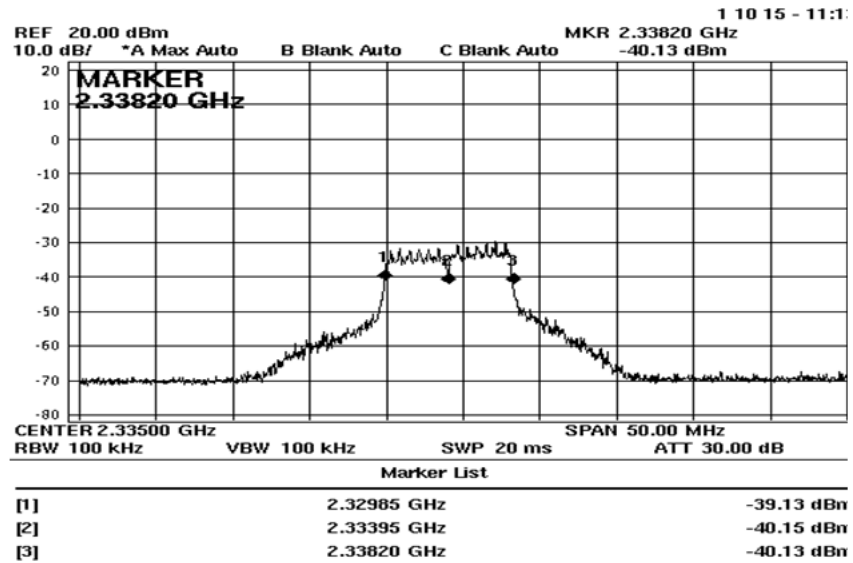


Рис. 1. Спектрограма каналу радіозв'язку БпАК

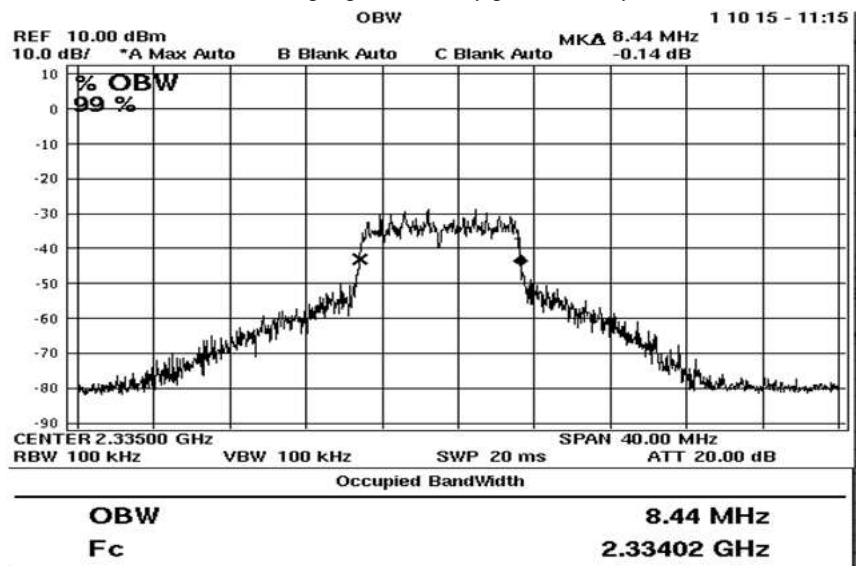


Рис. 2. Спектрограма каналу радіозв'язку БпАК (на рівні 99 % потужності)

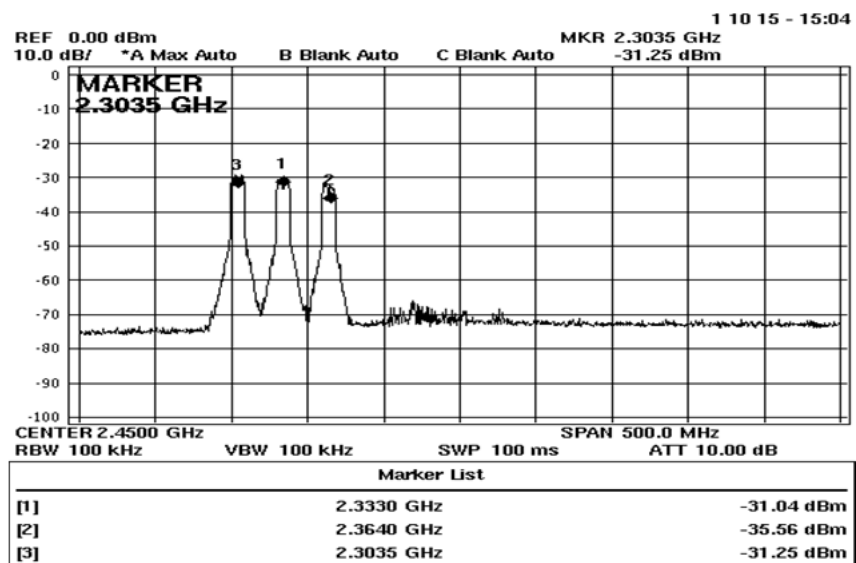


Рис. 3. Спектрограма фрагмента перелаштування каналу радіозв'язку БпАК у межах діапазону

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Система зв'язку БпАК «Мара – 2М» складається з трьох незалежних каналів радіозв'язку:

- основного каналу передачі даних та телеметрії;
- каналу передачі відео;
- допоміжного каналу керування.

Основний канал передачі даних та телеметрії є цифровим, який реалізовано модемами зв'язку 3D Robotics з частотою несучої 433 МГц. В каналі забезпечується обмін пакетними даними з підтвердженням зі швидкістю до 56 Кбіт/с (за даними виробника).

Канал призначений для завантаження у БпЛА польотного завдання та отримання з БпЛА телеметричної інформації, відображення на моніторі наземної станції управління (НСУ) навігаційних елементів польоту: висоти, швидкості польоту, пройденої відстані, поточного місця знаходження та траєкторії польоту БпЛА.

Канал захищений від засобів постановки навмисних завад методом псевдовипадкового перелаштування робочої частоти (ППРЧ). Інформація, що циркулює в каналі зв'язку, не захищена від втручання й руйнування методом шифрування [6].

Аналіз спектрограм сигналу каналу передачі даних та телеметрії (рис. 4, 5), отриманих під час виконання польотів БпЛА, свідчить про таке:

- частота несучої випромінювання передавача на час проведення вимірів становила 437,48 МГц;
- відхилення центральної частоти спектра сигналу від частоти випромінювання, заявленої виробником, становить 4,48 МГц;
- максимальний рівень спектра сигналу, отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектру сигналу» на частоті 438,6 МГц, дорівнює $-16,6$ dBm;
- ширина смуги частот випромінювання каналу зв'язку на рівні -30 dB становить 4,77 МГц;
- відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), прийомо-передавач працює у частотному діапазоні загального користування (432–438 МГц аматорська радіолокаційна фіксована Супутникова служба дослідження Землі (активна) 5.279A U016 U031 U042 U093);
- форма спектра сигналу має форму наближену до прямокутної, що характерно для спектра цифрового каналу зв'язку;
- енергетичне заповнення спектра сигналу у смузі пропускання каналу зв'язку рівномірне, без провалів, що характерно для застосування в каналі методу ППРЧ.

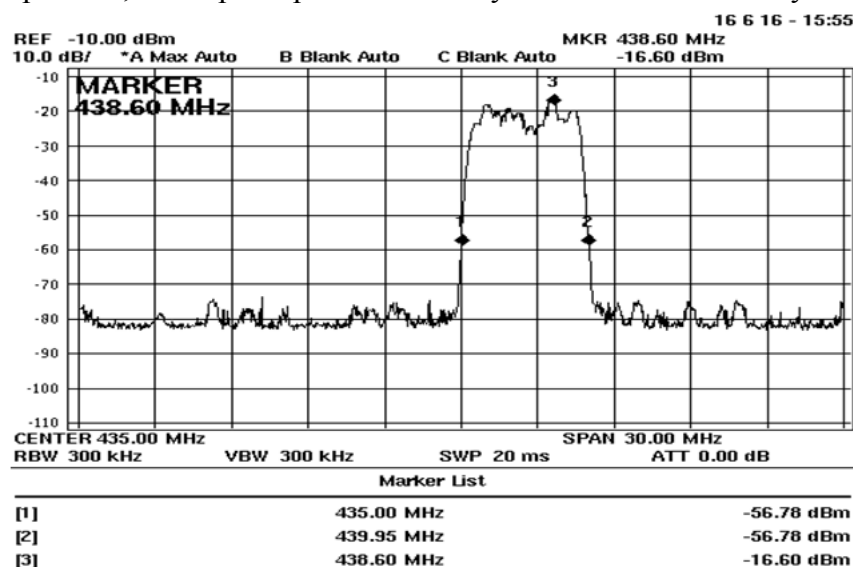


Рис. 4. Спектрограма сигналу каналу передачі даних та телеметрії

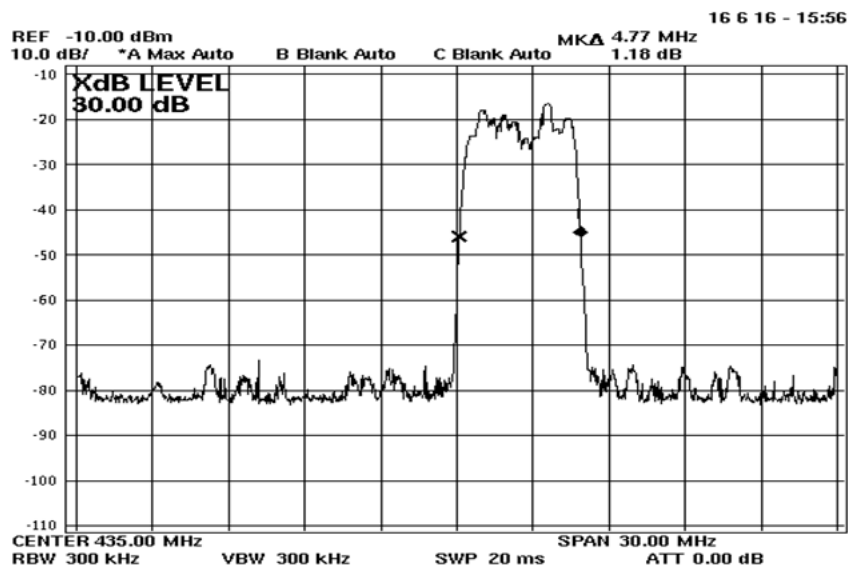


Рис. 5. Спектрограма сигналу каналу передачі даних та телеметрії (на рівні -30 dB)

Використання відносно низького діапазону частот сприяє підвищенню дальності та стійкості каналу передачі даних та телеметрії. Застосування частотного ресурсу з більш високими значеннями призводить до більш значного поглинання в середовищі розповсюдження та оточуючих об'єктах, однак дозволяє реалізувати більш високу швидкість передачі даних у цифровому каналі зв'язку.

Канал передачі відео є аналоговим, реалізований у межах частотного діапазону 1,04–1,28 ГГц з можливістю дискретного перелаштування частоти несучої з кроком у 40 МГц у межах діапазону. Канал призначений для передачі в реальному режимі часу з БпЛА на НСУ відеоінформації у стандарті аналогового кольорового телебачення PAL (Phase Alternating Line) про об'єкти розвідки. В наземній частині тракту каналу, а саме в окремому модулі антенного терміналу (ОМАТ) НСУ, реалізовано алгоритм стиснення інформації H264. Для виключення вірогідності бути запеленгованим у місті розгортання БпЛА та запуску БпЛА засобами розвідки вірогідного супротивника, передавач відео каналу оснащений системою ввімкнення та вимкнення дистанційно з НСУ в режимі реального часу або за польотним завданням. Таким чином, БпЛА здатний здійснити зліт та приземлення в режимі радіотиші, а протягом усього польоту оператор має можливість, за потребою, вмикати або вимикати трансляцію відео з БпЛА.

За результатами аналізу спектрограм сигналу каналу передачі відео (рис. 6–8) можливо зробити висновок про те, що:

- існує можливість дискретного перелаштування частоти-несучої радіоканалу передачі відео в межах частотного діапазону, заявленого виробником;
- центральна частота спектра сигналу (дискретний канал № 1) становить 1,076 ГГц;
- максимальний рівень спектра сигналу (дискретний канал № 1), отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектру сигналу» на частоті 1,0764 ГГц, дорівнює $-22,6$ dBm;
- ширина смуги пропускання каналу зв'язку (дискретний канал № 1) на рівні -30 dB становить 26,3 МГц;
- центральна частота спектру сигналу (дискретний канал № 7) становить 1,24 ГГц;
- максимальний рівень спектра сигналу (дискретний канал № 7), отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектру сигналу» на частоті 1,2384 ГГц, дорівнює $-37,48$ dBm;
- відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), передавач кана-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лу відео працює у частотному діапазоні спеціального користування, що призначений виключно для радіоелектронних засобів спеціальних користувачів;

– форма спектра сигналу має ломані передній і задній фронти з багатьма сплесками енергетичних складових, що характерно для форми спектра аналогового сигналу.

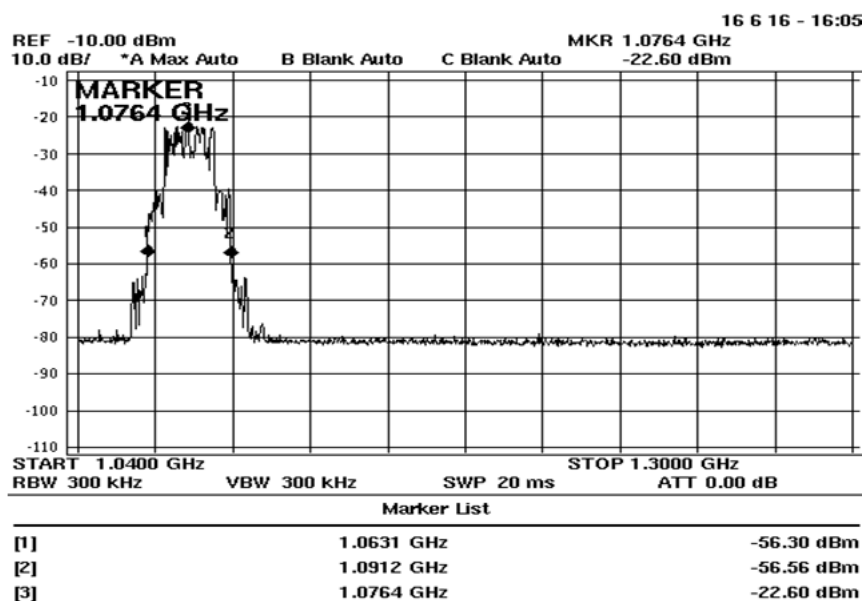


Рис. 6. Спектрограма сигналу радіоканалу передачі відео (дискретний канал 1)

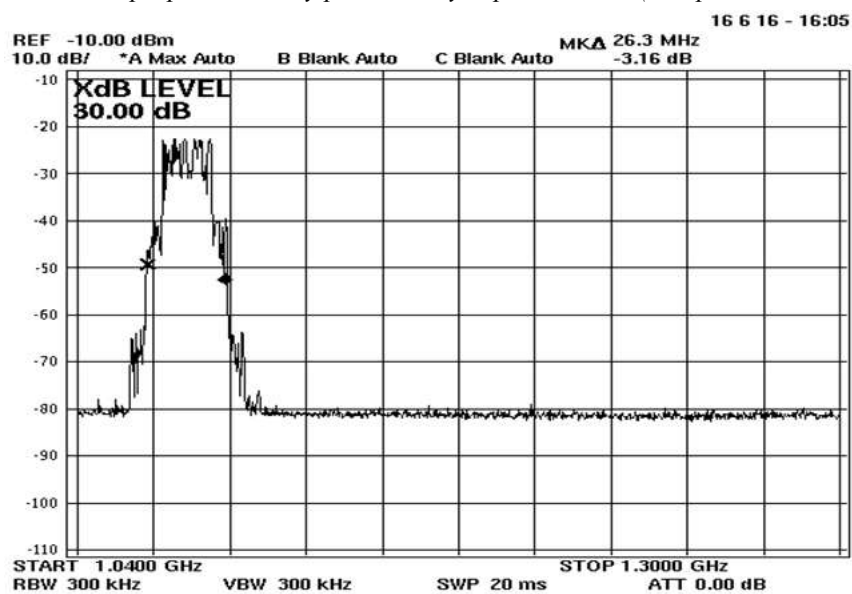


Рис. 7. Спектрограма сигналу радіоканалу передачі відео на рівні мінус 30 dB (дискретний канал 1)

Допоміжний канал керування забезпечує можливість здійснення пілотажу БпЛА у напівавтоматичному режимі в разі виникнення непередбачуваних обставин на етапах пуску БпЛА, а також керування оператором посадкою БпЛА. Крім цього, канал використовується для передстартової перевірки справної роботи аеродинамічних поверхонь та силової установки БпЛА. Після переходу БпЛА в автоматичний режим керування канал автоматично вимикається, що унеможливує несанкціоноване втручання у хід виконання польотного завдання. Канал побудований на базі технології ACCST (Advanced Continous Channel Shiting Tehnology – технологія безперервного перемикання каналів), що забезпечує безпечність та стійкість зв'язку до впливу завад у діапазоні 2,4 ГГц при дальності керування до 1000 метрів. У каналі реалізовано метод ППРЧ.

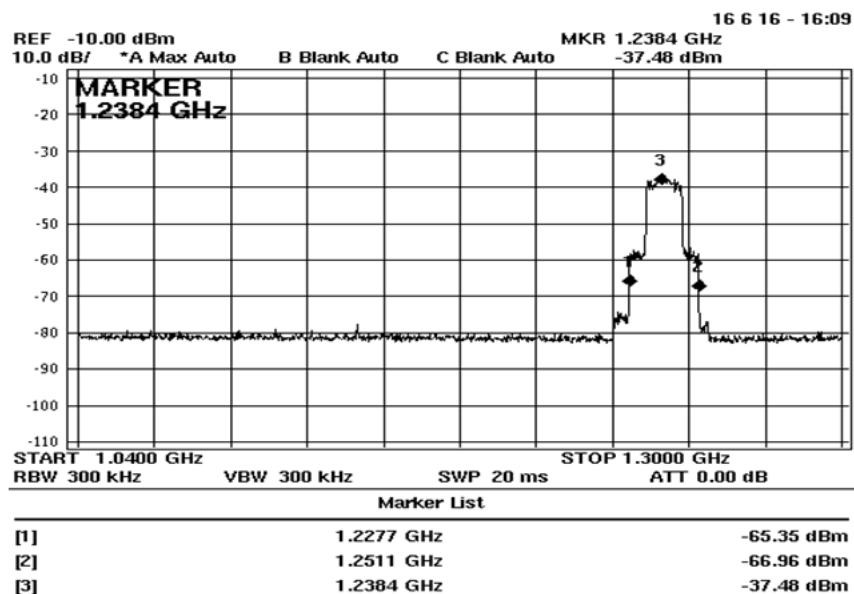


Рис. 8. Спектрограма сигналу радіоканалу передачі відео (дискретний канал 7)

Аналіз спектрограм сигналу допоміжного каналу керування (рис. 9, 10), отриманих під час виконання польотів БПЛА, свідчить про таке:

- частота несучої випромінювання передавача знаходиться в межах частотного діапазону, заявленого виробником;
- центральна частота спектра сигналу на час проведення вимірів становила 2,44 ГГц;
- ширина смуги частот випромінювання каналу зв'язку на рівні -30 dB становить 74,9 МГц;
- максимальний рівень спектра сигналу, отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектра сигналу» на частоті 2,43 ГГц, дорівнює $-20,2$ dBm;
- відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), канал зв'язку БпАК працює у частотному діапазоні загального користування у смузі радіочастот, що класифікується як «фіксована рухома Аматорська Радіолокаційна».

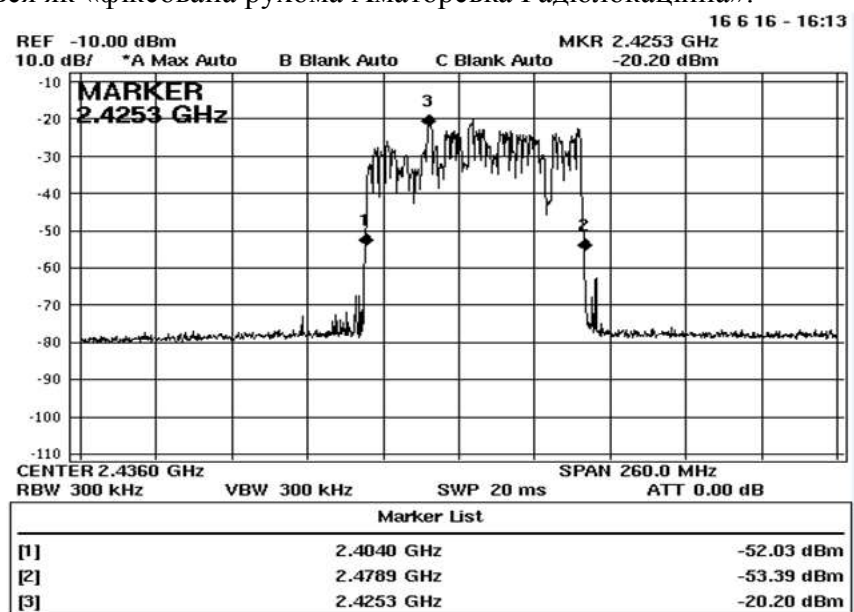


Рис. 9. Спектрограма сигналу допоміжного каналу керування

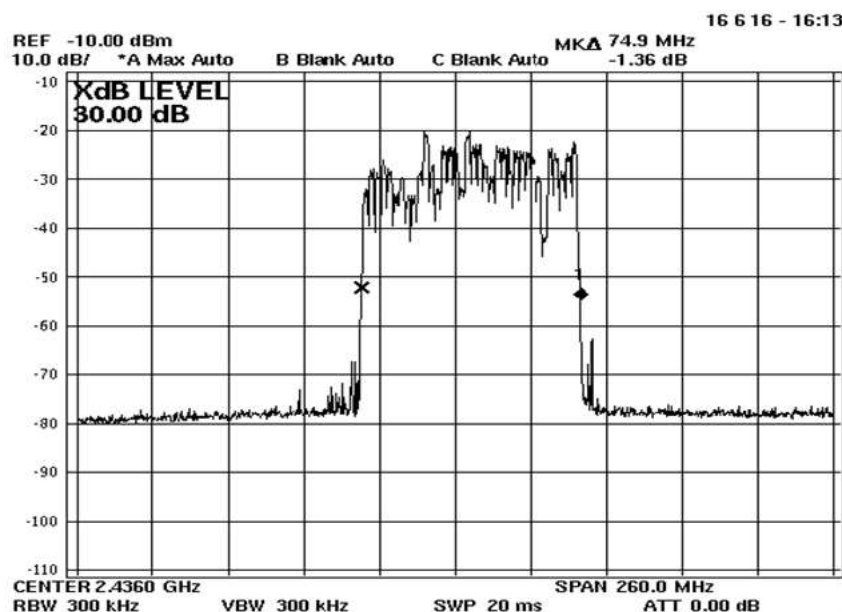


Рис. 10. Спектрограма сигналу допоміжного каналу керування (на рівні -30 dBm)

Під час проведення випробувань з'ясована можливість екстреного переходу з автоматичного в напівавтоматичний режим управління при польоті БпЛА по маршруту, за умови знаходження останнього в зоні дії допоміжного каналу керування.

Враховуючи заявлений радіус дії каналів радіозв'язку, застосування ретрансляторів зв'язку в БпАК «Мара – 2М» не передбачене.

Висновки і пропозиції:

1. З метою протидії технічним засобам радіоелектронного подавлення в сучасних БпАК використовується цифровий канал передачі відео, канал передачі даних (розвідінформації) та канал управління.

2. Основними методами підвищення достовірності в сучасних БпАК є застосування цифрових методів модуляції сигналу (QPSK, QAM, GFSK і т. ін.) та застосування розширення спектра сигналу методом ППРЧ.

3. Для підвищення характеристик достовірності інформації сучасних БпАК пропонується додаткове застосування методів завадостійкого кодування, зокрема турбокодів, кодів Ріда-Соломона, а також їх каскадних конструкцій.

Список використаних джерел

1. Красилщиков М. Н. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / М. Н. Красилщиков, Г. Г. Себрякова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 272 с.

2. *Результати* аналізу основних класів БпЛА для оцінювання можливості їх спільного застосування з армійською авіацією / А. М. Алімпієв [та ін.] // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 1 (45). – С. 6–9.

3. Квадратурно-амплітудна модуляція [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Квадратурно-амплітудна_модуляція.

4. Квадратурно-фазова модуляція [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Квадратурно-фазова_модуляція.

5. Звіт по результатам демонстраційних польотів БпАК «HAWK» компанії «Drone-TechSRL» (Республіка Молдова). – Чернігів : Державний науково-випробувальний центр ЗС України, 2016. – Інв. № 774. – 67 с.

6. Звіт по результатам демонстраційних польотів БпАК «Мара-2М». – Чернігів : Державний науково-випробувальний центр ЗС України, 2016. – Інв. № 802. – 52 с.

References

1. Krasilshchikov, M.N., Sebriakova, G.G. (2005). *Upravlenie i navedenie bespilotnykh manevrennykh letatelnykh apparatov na osnove sovremennykh informatsionnykh tekhnologii* [Management and guidance maneuverable unmanned aerial vehicles on the basis of modern information technologies]. Moscow: FYZMATLYT (in Russian).
2. Alimpiiev, A.M. et al. (2016). Rezultaty analizu osnovnykh klasiv BPLA dlia otsiniuvannia mozhlivosti ikh spilnoho zastosuvannia z armiiskoioi aviatsiieiu [The analysis of the main classes of UAVs to evaluate the possibility of joint use of Army Aviation]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika – Weapons systems and military equipment*, no. 1 (45), pp. 6–9 (in Ukrainian).
3. *Kvadrurno-amplitudna moduliatsiia* [Quadrature amplitude modulation]. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Kvadrurno-amplitudna_moduliatsiia.
4. *Kvadrurno-fazova moduliatsiia* [Quadrature-phase modulation]. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Kvadrurno-fazova_moduliatsiia.
5. *Zvit po rezultatam demonstratsiinykh polotiv BpAK «HAWK» kompanii «Drone-TechSRL» (Respublika Moldova)* [Report on the results of demonstration flights UAV «HAWK» of «Drone-TechSRL» (Republic of Moldova)] (2016). Chernihiv: Derzhavnyi naukovy-vyprobuvalnyi tsentr ZS Ukrainy. Inv. № 774.
6. *Zvit po rezultatam demonstratsiinykh polotiv BpAK «Mara-2M»* [Report on the results of demonstration flights BpAK «Mara-2M»] (2016). Chernihiv: Derzhavnyi naukovy-vyprobuvalnyi tsentr ZS Ukrainy. Inv. № 802.

Зайцев Сергій Васильович – доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Зайцев Сергей Васильевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Zaitsev Sergey – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Information and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Serza1979@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6643-917X>

Scopus Author ID: 56673709400

Башинська Ольга Олександрівна – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Башинская Ольга Александровна – аспирант кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bashinskaya Olga – PhD student of the Department of Information and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: 220kiss_she@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1851-3520>

Камак Юрій Олександрович – начальник відділу наукових досліджень і випробувань безпілотних авіаційних комплексів, Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України (вул. Стрелецька, 1, м. Чернігів, 14013, Україна).

Камак Юрий Александрович – начальник отдела научных исследований и испытаний беспилотных авиационных комплексов, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных Сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, г. Чернигов, 14013, Украина).

Самас Yuri – Head of Research and Testing of Unmanned Aircraft Systems, State Research and Test Center of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletskaya Str., 14013 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: dnvc@meta.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1953-411X>

Горлинський Борис Вікторович – начальник управління Департаменту захисту інформації Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України (вул. Солом'янська, 13, м. Київ, 03110, Україна).

Горлинский Борис Викторович – начальник управления Департамента защиты информации Администрации Государственной службы специальной связи и защиты информации Украины (ул. Соломенская, 13, г. Киев, 03110, Украина).

Horlynskyi Borys – Head of Office of Department of Information Protection of Administration of State Service of Special Communication and Information Protection of Ukraine (13 Solomianska Str., 03110 Kyiv, Ukraine).

E-mail: vjzgoxf@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9993-2427>

Виталий Литвинов, Ирина Посадская

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ИСХОДЯ ИЗ ЕЕ ТЕКСТОВО-ГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ

Vitalii Lytvynov, Iryna Posadska

ПРОЕКТУВАННЯ ФОРМАЛІЗОВАНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ВИХОДЯЧИ З ЇЇ ТЕКСТОВО-ГРАФІЧНОГО ОПИСУ

Vitalii Lytvynov, Iryna Posadska

DOMAIN FORMALIZED PRESENTATION DESIGN BASED ON ITS TEXT AND GRAPHIC DESCRIPTIONS

Обоснована важность формализации предметной области курса не в виде параграфов и разделов документа, а в виде тех средств, которые дают возможности представлять знания в системе и использовать их дальше в процессе обучения. Идентификацию объектов предметной области предлагается выполнять с помощью подхода подчеркивания существительных. Предложены элементарные операции и стратегии, с помощью которых создается костяк формализованного представления предметной области. Предложен жизненный цикл разработки формализованного представления учебного курса.

Ключевые слова: автоматизированная система обучения, инженер по знаниям, эксперт в предметной области, формализация, элементарные операции, стратегия.

Рис.: 1. Табл.: 2. Библ.: 13.

Обґрунтовано важливість формалізації предметної області курсу не у вигляді параграфів і розділів документа, а у вигляді тих засобів, які дають можливості представляти знання в системі і використовувати їх далі в процесі навчання. Ідентифікацію об'єктів предметної області пропонується виконувати за допомогою підходу підкреслення іменників. Запропоновано елементарні операції і стратегії, за допомогою яких створюється кістяк формалізованого представлення предметної області. Запропоновано життєвий цикл розробки формалізованого представлення навчального курсу.

Ключові слова: автоматизована система навчання, інженер зі знань, експерт у предметній області, формалізація, елементарні операції, стратегія.

Рис.: 1. Табл.: 2. Бібл.: 13.

The article substantiates course domain formalization importance not in the form of paragraphs and chapters of the document, but as the means that make it possible to represent knowledge in the system and use them during the learning process. Identification of domain's objects is proposed to perform by using the nouns underline approach. Elementary operations and strategies, by means of which the foundation of domain formalized representation is created, are proposed. The life-cycle development of learning course formalized representation is proposed.

Key words: automated learning system, knowledge engineer, domain expert, formalization, elementary operations, strategy.

Fig.: 1. Tabl.: 2. Bibl.: 13.

Постановка проблемы. Практически все современные автоматизированные системы обучения (АСО) используют частично структурированную информацию о предметной области, представленную в виде текстово-графических материалов, представленных в виде параграфов, разделов и подразделов документа. Такого рода формализация не позволяет дальше использовать знания в процессе обучения.

На сегодня актуальными задачами в создании автоматизированных систем являются: дополнение учебных курсов формализованными представлениями фрагментов предметной области; выбор инструментального средства для формализации; определение стратегии процесса формализации знаний; интеграция формализованных знаний о предметной области с текстово-графическим представлением раздела документа.

Анализ последних исследований и публикаций. В большинстве форм представлений знаний центральной идеей является фиксация множества концептов и отношений между ними [1], которые хорошо сочетаются со структурными моделями.

Структурные модели, как правило, носят статический характер, фактор времени в них не играет существенной роли. Для описания таких моделей разработано множество специализированных формализмов задания динамики поведения систем, к которым относятся системы дифференциальных уравнений, конечные автоматы [2], марковские и

полумарковские процессы [3], агрегативные модели [4], сети Петри [5], логико-динамические модели [6] и др. Все эти средства описания динамики в явной или неявной форме имеют дело с множеством состояний системы и переходами между состояниями. Они используются как для описания фактов, так и знаний, задающих классы. Модели, отражающие динамику поведения, часто называют динамическими моделями.

Динамические модели характеризуются наличием множества состояний и возможных переходов между ними во времени. Исходя из этого, в перечень задач, решаемых с помощью динамических моделей, входят задачи прогноза или достижимости состояний, задачи допустимости траекторий поведения, задачи определения моментов обрыва траектории и т. д.

Однако универсального способа формализации предметной области курса в АСО не существует. Например, в работе [7] проведен сравнительный анализ моделей и сделан выбор в пользу фреймов, за счет того, что структура фрейма не привязывается к особенностям предметной области, а определяется свойствами моделируемых понятий.

При таком большом наличии способов формализации, можно сделать вывод, что выбор способа не так важен, как выбор наиболее подходящего инструментального средства для представления знаний. В нашем подходе предлагается использовать наиболее известный формализованный язык Unified Modelling Language (UML).

Целью статьи является обоснование нового подхода к формализации предметной области курса в автоматизированных системах обучения, который базируется на применении формализованного языка UML.

Изложение основного материала. Как известно [8], UML представляет собой многоязыковую систему с возможностями задания структурных моделей (диаграммы классов), сценариев взаимодействия элементов моделей (диаграммы последовательностей и диаграммы взаимодействия объектов), задания динамики функционирования системы (диаграммы последовательностей, диаграммы состояний), взаимодействия параллельных процессов (диаграммы активностей) и др. Указанные выше диаграммы играют решающую роль в формализованном представлении предметной области курса; и, как показали исследования в области программной инженерии [9], могут быть получены из текстового описания объекта формализации на естественном языке.

Архитектура автоматизированной системы обучения (АСО) состоит из трех функциональных модулей: модуль формирования знаний о предметной области, модули обучения и контроля [10].

Главной функцией модуля формирования знаний о предметной области является *функция структуризации знаний*. Известно, что знания в АСО могут быть представлены в естественно-языковой текстово-графической форме и формализованной. Не все знания подлежат формализации. В данном функциональном модуле задействованы две категории пользователей системы – эксперт в предметной области и инженер по знаниям.

Главным направлением работы эксперта в предметной области является подготовка курса по предметной области, а именно выполнение следующих базовых функций:

- отбор и выбор материалов, которые необходимо изучить;
- разработка сопровождающих иллюстративных материалов;
- разработка таблиц, графиков и других вспомогательных учебных материалов;
- представление знаний по предметной области в текстовой форме – первичная структуризация, т. е. разбиение знаний на разделы, подразделы, параграфы и т. д.;
- выделение фрагментов предметной области, которые подлежат формализации;
- определение степени покрытия предметной области формализованными представлениями.

Инженер по знаниям приступает к работе, когда первичная структуризация уже проведена. Анализируя результаты работы эксперта в предметной области, выделяются те фрагменты предметной области, которые подлежат формализации.

Среди основных функций инженера по знаниям выделяют следующие:

- выбор стратегии формализации представленных компонент знаний;
- выделение фрагментов предметной области, которые подлежат формализации;
- формализация выделенных представленных компонент знаний;
- установление прямых ссылок между формализованными знаниями и структурированными текстово-графическими и наоборот;
- поддержка знаний в актуальном состоянии.

Его основной функцией является формализация знаний о предметной области. Выбор способа формализации является важнейшей задачей.

Как видим, работа над формализованным представлением предметной области исходя из ее текстово-графического описания зависит от эксперта в предметной области и инженера по знаниям (рис.).

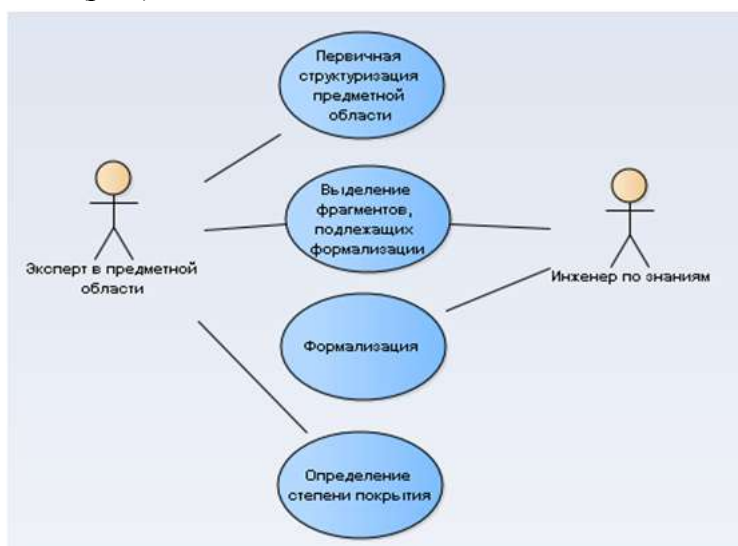


Рис. Диаграмма прецедентов (Use Case) взаимодействия эксперта в предметной области и инженера по знаниям при формализации предметной области

Для построения формализованной модели предметной области эксперт и инженер используют ряд разработанных подходов к выделению объектов и связей [11]:

- Подход подчеркивания существительных.
- Идентификация причинных объектов.
- Идентификация сервисов (пассивные объекты).
- Идентификация на базе объектов реального мира.
- Идентификация объектов на базе физических устройств.
- Идентификация ключевых концептов.
- Идентификация объектов на базе транзакций.
- Идентификация сохраняемой информации.
- Идентификация визуальных элементов.
- Использование сценариев.
- Идентификация связей объектов.

Перечисленные выше подходы выделения объектов и связей могут использоваться как отдельно, так и в совокупности при текстовом анализе. Однако следует отметить слабую степень формализации данного процесса как в отношении построения классовых диаграмм, так и в отношении диаграмм, описывающих сценарии поведения.

При работе с естественно-языковым представлением предметной области чаще всего используется подчеркивание существительных. Определение потенциальных объектов осуществляется путем подчеркивания каждого существительного или фраз с существительными в тексте. Таким образом, формируется словарь потенциальных объектов предметной области.

Претенденты, идентифицированные подобным образом, могут попасть в одну из четырех категорий:

- объекты, представляющие интерес;
- актеры;
- объекты, не представляющие интереса;
- атрибуты объектов.

Особенности данного подхода:

1. Актеры, обычно уже идентифицированы в модели прецедентов, но иногда обнаруживаются некоторые новые актеры, которые не имеют прямого отношения к нашей системе.

2. В описании проблемы атрибуты также представлены как существительные.

3. Иногда атрибут может трактоваться как свойство объекта.

4. Если имеется сомнение, необходимо классифицировать существительное как объект.

5. Если последующий анализ показывает, что объект не является существенно интересным, тогда он может быть включен как атрибут в некоторый другой объект.

Не смотря на то, что этот метод является наиболее распространенным, и для него степень формализации предметной области не является оптимальной.

Развивая дальнейшую формализацию данного метода, необходимо решить следующие задачи:

1. Задачу обработки естественно-языковых текстов с целью выделения объектов, атрибутов, классов объектов и отношений между ними;

2. Задачу интеграции классовых диаграмм;

3. Задачу оценки показателей качества классовых диаграмм;

4. Задачу эквивалентных преобразований классовых диаграмм;

5. Задачу согласования классовых диаграмм с диаграммами последовательностей и диаграммами состояния, описывающих поведение объектов.

Для примера выполнения первой задачи рассмотрим **обобщенный алгоритм обработки текста для формализации предметной области в терминах UML**:

1. Выделение из текста T множеств словосочетаний, обозначающих группы существительного N_t образующих словарь первичных имен сущностей.

2. Переработка N_t и текста T с целью избавления от синонимов и антонимов. Последние переименовываются, а для синонимов в словаре оставляется единственный. В результате образуется словарь N'_t и текст T' .

3. Группирование предложений текста T' на терминологические группы G_n , где $n \in N'_t$. В принципе, предложение текста T' может включаться в несколько групп.

4. Сопоставление каждому элементу $n \in N'_t$ информации о количестве сущностей в системе, соответствующей текстовому описанию T' .

Таким образом, определена функция $F: N'_t \rightarrow L$. Здесь в качестве элементов множества L могут выступать целые положительные числовые значения и неопределенность *.

5. На элементах m множества N'_t выделим атрибутные связи r_m , которые определяются следующим образом: сущность $n \in N'_t$ является атрибутом сущности $m \in N'_t$, $((n, m) \in r_m)$, если n не содержит других сущностей и ее можно рассматривать, как свойство сущности m . Выделение атрибутных связей рационально вести с использованием онтологий или словарей - глоссариев по данной предметной области.

Множество атрибутов множества N'_t обозначим N_t^a , а множество атрибутивных связей – R_a .

6. На элементах m множества N'_t выделим связи по обобщению, которые рассматриваются, как антипод специализации. Они определяются следующим образом: сущность $n \in N'_t$ является прямым обобщением сущности $m \in N'_t$, если n является обобщением m и не существует отличной от n и m сущности l , которая является обобщением m и для которой n является обобщением. Множество прямых связей по обобщению обозначим через R_o . Выделение связей по обобщению рационально вести с использованием онтологий или словарей – глоссариев по данной предметной области.

7. На элементах m множества N'_t выделим агрегативные связи $R_{ag} = \{r_n^m\}$, которые рассматриваются, как вхождение одной сущности $n \in N'_t$ в другую $m \in N'_t$, как элемента. При этом различаются два вида агрегативных связей: связи, для которых объекты сущности n порождаются, уничтожаются и не могут существовать вне породившего объекта m (композиционные связи) и объекты с временным входением в состав других объектов. Множества таких связей обозначаются R_{ag}^1 и R_{ag}^2 соответственно, $R_{ag} = R_{ag}^1 \cup R_{ag}^2$.

Сущности n и m не должны иметь атрибутивной связи. В терминологически группах G_n и G_m должны иметься предложно-глагольные формы, отражающие отношение включения n в m .

8. Для предложений каждой терминологической группы G_n , $n \in N'_t$ могут иметься глагольно-предложные формы, отражающие отношения следования событий, в которых участвуют объекты сущностей n и m . Эти связи носят название ассоциативных связей r_{nm} , а множество ассоциативных связей обозначается как $R_{as} = \{r_{nm}\}$. Будем различать два вида ассоциативных связей: однонаправленные, трактуемые как то, что событие, в котором участвует n , предшествует событию, в котором участвует m , и двунаправленные, трактуемые как две однонаправленные связи, действующие в противоположных направлениях.

9. Другие виды связей определяемые глагольно-предложными формами для сущностей n и m в предложениях терминологической группы G_n , $n \in N'_t$ или для предметной области не имеют значения, или относятся к категории «зависимость».

Описанный выше подход к построению моделей предметных областей обладает существенными недостатками:

- он тяжело поддается автоматизации;
- он рассчитан на работу с небольшими по объему текстами;
- помимо собственно текста он требует привлечения дополнительного материала, такого как глоссарии, терминологические словари, онтологии.

При этом привлечение эксперта в предметной области является непременным условием успеха. Максимум, на что можно рассчитывать при этом подходе - это на создание костяка формализованного представления предметной области или ее небольших фрагментов. Вместе с тем для создания реальных формализованных предметных областей требуется как привлечение множества экспертов, так и выделение необходимого времени.

Это может быть сделано за счет:

- введения элементарных операций преобразования формализованных схем;
- использования стратегий, их постепенного формирования за счет детализации или обобщения;
- применения операций интеграции формализованных фрагментов предметных областей в единое целое.

При такой постановке первым шагом является введение множеств элементарных операций диаграмм. Любую элементарную операцию можно рассматривать как функцию f , определенную на множестве диаграмм (схем) S в множество схем S , $f: S \rightarrow S$.

В каком-то смысле наборы элементарных операций по формированию UML диаграмм в зачаточном виде имеются в любых объектно-ориентированных CASE системах [12].

При построении ER моделей в [13] также используются элементарные операции. В данном подходе при построении формализованного представления предметной области с ориентацией на UML мы введем два вида элементарных операций:

- элементарная операция «сверху-вниз»;
- элементарная операция «снизу-вверх».

Первые рационально использовать при построении предметной области проводя детализацию сверху-вниз. Вторые – наоборот, при построении предметной области снизу-вверх, за счет введения обобщений и составных сущностей.

Элементарные операции «сверху-вниз» характеризуются следующими свойствами:

- Начальная схема представляет собой единственный концепт, а результирующая состоит из небольшого набора концептов.
- Все имена концептов преобразуются в новые имена, описывающие исходный концепт на более низком абстрактном уровне.
- Логические связи должны наследоваться единственным концептом результирующей схемы.

Приведем возможный набор элементарных операций «сверху-вниз» для преобразования классовых UML диаграмм, описывающих предметную область.

1. Группа элементарных операций T_1 , преобразует сущность в отношение между двумя сущностями.

Операции этой группы могут образовывать отношения следующих типов:

- двунаправленная ассоциация, с кардинальными числами или без них $T_{1,1}, T_{1,2}$;
- однонаправленная ассоциация с кардинальными числами или без них $T_{1,3}$;
- прямая или обратная агрегация $T_{1,4}, T_{1,5}$;
- прямое или обратное обобщение $T_{1,6}, T_{1,7}$;
- прямое или обратное композитное отношение $T_{1,8}, T_{1,9}$.

2. Группа элементарных операций $T_{2,1}(n)$, детализирующая сущность в иерархию из $n+1$ сущностей по отношению обобщения.

3. Группа элементарных операций $T_{3,1}(n)$ разбивает сущность на множество из n независимых сущностей.

4. Группа элементарных операций $T_{4,1}(n)$ разбивает отношение ассоциации между двумя сущностями на два и более отношений (n) между теми же сущностями.

5. Группа элементарных операций $T_{5,1}(n)$ преобразует отношение ассоциации в ненаправленный ассоциативный путь между теми же сущностями, проходящий между новыми n промежуточными сущностями.

6. Элементарная операция $T_{6,1}$ вводит в сущность ее атрибуты.

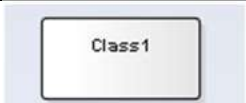
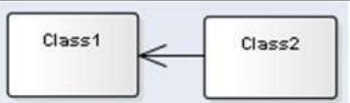
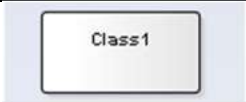
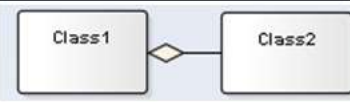
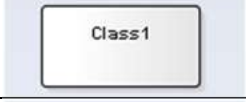
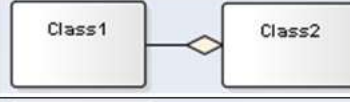






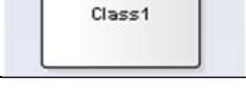


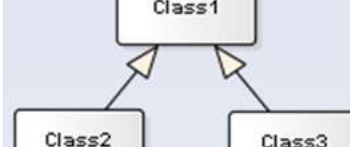
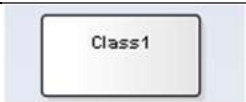

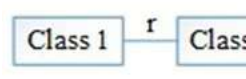
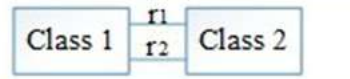

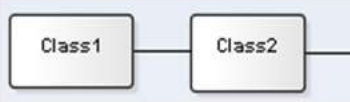
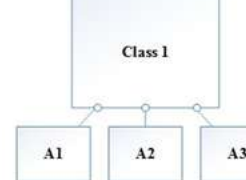
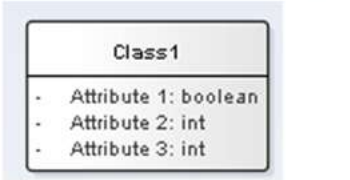
Графическое представление элементарных операций «сверху-вниз» дано в табл. 1.

Таблица 1

Элементарные операции «сверху-вниз»

№ п/п	Группа	Элементарные операции	Входной фрагмент	Результат
1	2	3	4	5
1	T_1	$T_{1,1}$		
2	T_1	$T_{1,2}$		

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
3	T ₁	T _{1,3}		
4	T ₁	T _{1,4}		
5	T ₁	T _{1,5}		
6	T ₁	T _{1,6}		
7	T ₁	T _{1,7}		
8	T ₁	T _{1,8}		
9	T ₁	T _{1,9}		
10	T ₂	T _{2,1(n)}		
11	T ₃	T _{3,1(n)}		
12	T ₄	T _{4,1(n)}		
13	T ₅	T _{5,1(n)}		
14	T ₆	T _{6,1}		

Указанные выше элементарные операции «сверху-вниз» не позволяют создать все допустимые классовые диаграммы.

Элементарные операции «снизу-вверх» вводят новые концепты и свойства, которые отсутствовали в предыдущих версиях диаграммы, или модифицируют некоторые имевшиеся в диаграмме концепты.

Элементарные операции «снизу-вверх» используются при проектировании диаграммы, когда мы раскрываем те особенности предметной области, которые не обна-

ружены на любом уровне абстракции предыдущей версии диаграммы. Они используются также тогда, когда диаграмма преобразуется в более общую схему.

Приведем возможный набор элементарных операций «снизу-вверх» для преобразования классовых UML диаграмм, описывающих предметную область.

1. Элементарная операция B_1 порождает в диаграмме новую сущность. Она употребляется, когда инженер по знаниям обнаружил новый концепт со специфическими свойствами, который не появлялся в предыдущей диаграмме.

2. Группа элементарных операций B_2 порождает новое отношение между ранее определенными сущностями диаграммы. В зависимости от вида порождаемого отношения различаются:

- элементарная операция $B_{2,1}$ для отношения двунаправленной ассоциации;
- элементарная операция $B_{2,2}$ для отношения прямой однонаправленной ассоциации;
- элементарная операция $B_{2,3}$ для отношения обратной однонаправленной ассоциации;
- элементарная операция $B_{2,4}$ для прямого агрегативного отношения;
- элементарная операция $B_{2,5}$ для обратного агрегативного отношения;
- элементарная операция $B_{2,6}$ для прямого композитного отношения;
- элементарная операция $B_{2,7}$ для обратного композитного отношения.



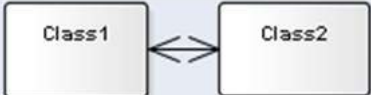



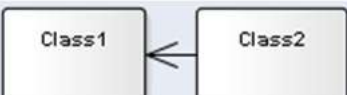






3. Элементарная операция B_3 порождает новую сущность, которая рассматривается как обобщение (вершина иерархии) для ранее определенных в диаграмме сущностей.

4. Элементарная операция B_4 порождает новый атрибут для ранее определенной сущности.




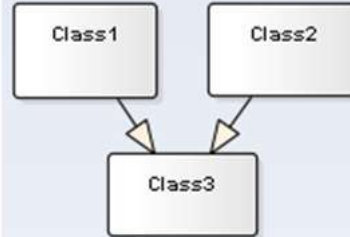
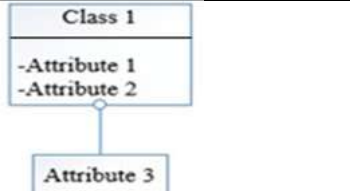
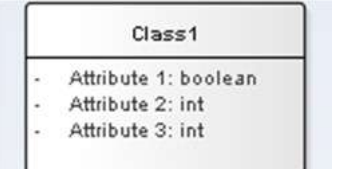
Графическое представление элементарных операций «снизу-вверх» дано в табл. 2.

Таблица 2

Элементарные операции «снизу-вверх»

№ п/п	Группа	Элементарная операция	Входной фрагмент		Результат
1	2	3	4		5
1	B_1	B_1			
2	B_2	$B_{2,1}$			
3	B_2	$B_{2,2}$			
4	B_2	$B_{2,3}$			
5	B_2	$B_{2,4}$			
6	B_2	$B_{2,5}$			
7	B_2	$B_{2,6}$			

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
8	B ₂	B _{2,7}		
9	B ₃	B _{3,1}		
10	B ₄	B _{4,1}		

Стратегии, используемые при построении формализованных моделей предметных областей на базе UML. Общие принципы использования элементарных операций при построении моделей предметной области назовем стратегиями построения предметной области.

Для построения классовых диаграмм, описывающих предметную область, будем различать четыре стратегии:

- «Сверху-вниз»;
- «Снизу-вверх»;
- «Изнутри-наружу»;
- Смешанная.

Каждая из них характеризуется использованием определенных элементарных операций.

Стратегия «сверху-вниз». При использовании стратегии «сверху-вниз», классовая диаграмма, описывающая предметную область, получается путем детализации за счет использования только элементарных операций «сверху-вниз». Каждое использование операции добавляет новые детали в диаграмму. На каждом шаге преобразования происходит детализация одной сущности или связи, в то время как остальная часть диаграммы остается неизменной.

Таким образом, процесс построения предметной области, представленной в виде классовой UML диаграммы, в случае использования стратегии «сверху-вниз» представляется в виде последовательности применений к схеме диаграммы элементарных операций «сверху-вниз»: $\langle T^1, T^2, \dots, T^n \rangle$, где $T^i \in T, i = 1, \dots, n$, причем исходная диаграмма, S_0 , обрабатываемая T^1 , состоит из единственной сущности, а конечная классовая диаграмма S_n , получаемая в результате применения операции. T^n – есть искомое формализованное представление предметной области. При этом $S_0 < S_1 < S_2 \dots < S_n$.

Таким образом, стратегия «сверху-вниз» наиболее применима, когда предметная область строится, начиная с наиболее абстрактных понятий. Она позволяет нам «видеть лес, а не отдельные деревья».

Стратегия «снизу-вверх». При использовании стратегии «снизу-вверх», классовая диаграмма, описывающая предметную область, получается путем детализации за счет использования только элементарных операций «снизу-вверх». Процесс начинается с

элементарных концептов, на базе которых с использованием операций строятся более сложные концепты, и т. д.

Если процесс построения формализованного представления предметной области рассматривать, как последовательность преобразований, выполняемых над диаграммами с помощью элементарных операций «снизу-вверх» $\langle B^1, B^2, \dots, B^n \rangle$, где $B^i \in B, i = 1, \dots, n$, то здесь на вход B^1 поступает диаграмма, состоящая из низкоуровневых сущностей, имеющих отображение в первичном словаре терминов-существительных, а конечная классовая диаграмма S_n , получается в результате применения элементарной операции B^n . T^n – есть искомое формализованное представление предметной области. При этом $S_0 < S_1 < S_2 \dots < S_n$.

Постепенное добавление абстрактных сущностей может привести к частичной реструктуризации диаграммы за счет переноса свойств сущностей по пути, определяемому отношениями обобщения.

Последовательное применение элементарных операций «снизу-вверх» может привести к образованию на диаграмме множества кластеров связанных сущностей, между которыми в дальнейшем можно установить отношения.

Преимуществом стратегии «снизу-вверх» является простота построения кластеров, что дает возможность быстро формировать прототипы предметных областей.

Недостатками стратегии «снизу-вверх» является трудность интеграции фрагментов сложных диаграмм и необходимость частой реструктуризации диаграммы. Стабилизация состава сущностей и отношений в диаграмме наступает только в конце процесса проектирования.

В случае использования стратегии «снизу-вверх» мы скорее «видим отдельные деревья, а не лес».

Стратегия «изнутри-наружу». Используя стратегию «изнутри-наружу» при проектировании классовой диаграммы для формализованного представления предметной области, прежде всего, выбираются наиболее важные и наиболее очевидные концепты (сущности). Зафиксировав такие концепты, необходимо найти другие концепты, которые являются наиболее концептуально близкими к первым. Далее процесс повторяется. В ER моделировании предметных областей этот процесс носит название «процесса распространения масляного пятна» [13].

Таким образом, стратегия «изнутри-наружу» может рассматриваться как частный случай стратегии «снизу-вверх».

При использовании стратегии «изнутри-наружу» процесс детализации аналогичен подходу «снизу-вверх». Уровни абстракции концептов, представленных в соседних версиях диаграммы аналогичны. Однако потеряны преимущества процессирования, начиная с абстрактных уровней.

Смешанная стратегия. Главной идеей смешанной стратегии является то, что когда предметная область является достаточно сложной, инженер по знаниям делит ее текстовое представление на части, которые далее рассматриваются отдельно.

Одновременно разработчик строит скелет диаграммы, который содержит наиболее важные концепты и включает связи между ними. Наличие скелета диаграммы облегчает интеграцию различных поддиаграмм.

Описанные выше стратегии проектирования формализованного представления предметной области позволяют сделать определенные выводы о характере области применимости данных стратегий.

1. Стратегии «сверху-вниз» и «снизу-вверх» применимы для проектирования небольших предметных областей.

2. Стратегия «изнутри-наружу» применима для проектирования формализованных представлений предметных областей средней размерности.

3. Смешанные стратегии вполне применимы для проектирования формализованных представлений предметных областей учебных курсов.

Однако в последнем случае требуется учесть и тот факт, что отдельные фрагменты общей большой классовой диаграммы могут проектировать разные люди.

С учетом высказанных выше замечаний можно представить жизненный цикл разработки формализованного представления учебного курса следующим образом:

1. Анализ текста курса T_1 и разбиение его на разделы $T_{1,1}, T_{1,2}, \dots, T_{1,n}$.
2. Составление скелета формализованного представления модели предметной области S_{sk} .
3. Разработка формализованных представлений фрагментов предметной области S_1, S_2, \dots, S_m .
4. Интеграция фрагментов формального описания предметной области в общее формальное описание S .
5. Анализ качества формального описания модели предметной области S и ее корректировки с целью улучшения качества.

Эта разновидность жизненного цикла опирается на смешанную стратегию разработки, о чем свидетельствуют этапы 2, 3, 4.

Выводы. Предложенный подход к формализации предметной области курса в АСО базируется на применении формализованного языка UML. На базе подхода подчеркивания существительных выделяются объекты (классы и отношения), описывающие формализованное представление предметной области, составляются терминологические словари, глоссарии и т.п..

Результатами выполнения перечисленных выше трех первых этапов жизненного цикла разработки формализованного представления учебного курса являются: терминологический словарь для сущностей предметной области курса (включая предметный указатель) L_1 ; терминологический словарь для глагольных и предложных форм в текстовом представлении курса L_2 ; стандартизованное представление текста курса, свободное от синонимов, антонимов и переработанное на предмет стандартизации синтаксических структур T_2 ; имеющиеся онтологические описания предметной области курса S^0 ; скелет S_{sk} диаграммы предметной области курса, содержащий множество наиболее важных концептов и связей между ними: $S_{sk} = \langle N_{sk}, R_{sk} \rangle$; классовая поддиаграмма S_i для каждого $i \in N_{sk}$.

В процессе создания фрагментов и общей схемы предметной области курса формируются прямые ссылки на оглавление, разделы, подразделы и параграфы текстового представления курса. А также обратные ссылки от словарей терминов, глоссариев на формальное представление предметной области или ее фрагмента. Это дает возможность использовать формальную структуризацию курса для формирования контрольных вопросов и более точно указывать фрагменты текстового представления знаний для адаптации материала при изучении и повторении под уровень знаний обучаемого.

Список использованных источников

1. *Поспелов Д. А.* Представление знаний. Опыт системного анализа / Д. А. Поспелов // Системные исследования. Методологические проблемы. – 1986. – № 17. – С. 83–102.
2. *Глушков В. М.* Абстрактная теория автоматов / В. М. Глушков // Успехи математических наук. – 1961. – № 6 (101). – С. 3–62.
3. *Королюк В. С.* Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В. С. Королюк, А. Ф. Турбин. – К. : Наук, думка, 1982. – 236 с.
4. *Бусленко Н. П.* Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко. – М. : Сов. радио, 1973. – 440 с.

5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
6. Жук К. Д. Исследование структур и моделирование логико-динамических систем : монография / К. Д. Жук, А. А. Тимченко, Т. И. Доленко. – К. : Наукова думка, 1975. – 199 с.
7. Любченко В. В. Модели знаний для предметных областей учебных курсов / В. В. Любченко // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4. – С. 458–462.
8. Bruce Powel Douglass. Real – Time UML. Second Edition. Developing Efficient Objects for Embedded Systems / Bruce Powel Douglass. – Wesley, 1999. – 238 p.
9. Коммервилл И. Инженерия программного обеспечения / И. Коммервилл. – М. : Вильямс, 2002. – 624 с.
10. Литвинов В. В. Архитектура знание-ориентированной автоматизированной системы обучения / В. В. Литвинов, И. С. Посадская, М. В. Савельев // Технічні науки та технології. – 2016. – № 3 (5). – С. 122–130.
11. Об'єктно-орієнтоване моделювання при проектуванні вбудованих систем і систем реального часу / В. В. Литвинов, С. В. Голуб, К. М. Григор'єв, В. Ю. Жигульська. – Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2011. – 379 с.
12. Трофимов С. А. CASE-технологии: практическая работа в Rational Rose / С. А. Трофимов. – Изд. 2-е. – М. : Бинوم-Пресс, 2002. – 288 с.
13. Carlo Batini Conceptual database design: an entity-relationship approach / Carlo Batini, Stefano Ceri, Shamkant B. Navathe. – The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. 1992. – 490 p.

References

1. Pospelov, D.A. (1986). Predstavlenie znaniy. Opyt sistemnogo analiza [Knowledge representation. Experience in System Analysis]. *Sistemnye issledovaniya. Metodologicheskie problem – System Research. Methodological problems*, no. 17, pp. 83–102 (in Russian).
2. Glushkov, V.M. (1961). Abstraktnaya teoriya avtomatov [The abstract theory of automatic machines]. *Uspekhi matematicheskikh nauk – Successes of Mathematical Sciences*, no. 6 (101), pp. 3–62 (in Russian).
3. Korolyuk, V.S. & Turbin, A.F. (1982). *Protsessy markovskogo vosstanovleniya v zadachakh nadezhnosti system [Markov renewal processes in systems reliability problems]*. Kiev: Nauk. dumka (in Russian).
4. Buslenko, N. P., Kalashnikov, V.V., Kovalenko, I.N. (1973). *Lektsii po teorii slozhnykh system [Lectures on the theory of complex systems]*. Moscow: Soviet radio (in Russian).
5. Piterson, Dzh. (1984). *Teoriya setey Petri i modelirovanie sistem [The theory of Petri nets and modeling systems]*. Moscow: Mir (in Russian).
6. Zhuk, K.D., Timchenko, A.A., Dolenko, T.I. (1975). *Issledovanie struktur i modelirovanie logiko-dinamicheskikh system [Research of structures and modeling of logic-dynamic systems]*. Kiev: Naukova dumka (in Russian).
7. Lyubchenko, V.V. (2008). Modeli znaniy dlya predmetnykh oblastey uchebnykh kursov [Knowledge Models for the learning courses domains]. *Iskusstvennyi intellekt – Artificial Intelligence*, no. 4, pp. 458–462 (in Russian).
8. Douglass, Bruce Powel (1999). *Real - Time UML. Second Edition. Developing Efficient Objects for Embedded Systems*. Wesley.
9. Sommervill, I. (2002). *Inzheneriia programmnoho obespecheniia [Software Engineering]*. Moscow: Viliams (in Russian).
10. Litvinov, V.V., Posadskaya, I.S., Savel'yev, M.V. (2016). Arkhitektura znaniye-orientirovannoy avtomatizirovannoy sistemy obucheniya [Architecture of knowledge-oriented automated system of learning]. *Tekhnichni nauki ta tekhnologii – Technical Sciences and Technologies*, no. 3 (5), pp. 122–130 (in Russian).
11. Lytvynov, V.V., Holub, S.M., Hryhoriev, K.M., Zhyhulska, V.Y. (2011). *Obiektno-oriientovane modeliuvannia pry proektuvanni vbudovanykh system i system realnoho chasu [Object-oriented modeling in the design of embedded systems and real-time systems]*. Cherkasy: Cherkaskyi natsionalnyi universytet im. B. Khmelnytskoho (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

12. Trofimov, S.A. (2002). *CASE-tekhnologii: prakticheskaya rabota v Rational Rose [CASE-technology: practical work in Rational Rose]* (2nd ed.). Moscow: Binom-Press (in Russian).
13. Carlo Batini, Stefano Ceri, Shamkant B. Navathe (1992). *Conceptual database design: an entity-relationship approach*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Литвинов Виталий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Литвинов Віталій Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

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., 14027, Chtrnihiv, Ukraine).

E-mail: vlitvin@ukrsoft.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9622-3871>

Посадская Ирина Сергеевна – ассистент кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Посадська Ірина Сергіївна – асистент кафедри інформаційних технологій і програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14000, Україна).

Posadska Iryna – assistant of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chtrnihiv, Ukraine).

E-mail: irrkin@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4905-2552>

УДК 004.93

*Володимир Казимир, Руслан Заровський, Андрій Радченко***МЕТОД НОРМАЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО НОМЕРА ПРИ ЙОГО РОЗПІЗНАВАННІ ЗАСОБАМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ***Владимир Казимир, Руслан Заровский, Андрей Радченко***МЕТОД НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО НОМЕРА ПРИ ЕГО РАСПОЗНАВАНИИ СРЕДСТВАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ***Volodymyr Kazymyr, Ruslan Zarovsky, Andrii Radchenko***NORMALIZATION METHOD OF LICENSE PLATE IMAGE IN CASE OF ITS RECOGNITION BY MEANS OF VIDEO SURVEILLANCE**

Одним з найбільш швидких і надійних детекторів об'єктів є детектор Хаара. Однак цей тип детектора в разі його застосування для детектування автомобільних номерів не виділяє точні границі номера. Точне виділення границь необхідно для подальшого розпізнавання символів. Існуючі алгоритми нормалізації в багатьох випадках не справляються із завданням точного виділення границь автомобільного номера, що зменшує ймовірність правильного розпізнавання номера.

У цій роботі описано метод нормалізації зображення автомобільного номера після його детектування детектором Хаара з метою подальшого розпізнавання символів номера.

Ключові слова: детектор Хаара, нормалізація, диференціальне зображення, кластеризація.

Рис.: 7. Бібл.: 15.

Одним из самых быстрых и надежных детекторов объектов является детектор Хаара. Однако данный тип детектора в случае его применимости для детектирования автомобильных номеров не выделяет точные границы номера. Точное выделение границ необходимо для дальнейшего распознавания символов. Существующие алгоритмы нормализации во многих случаях не справляются с задачей точного выделения границ автомобильного номера, что уменьшает вероятность правильного распознавания номера.

В данной работе описывается метод нормализации изображения автомобильного номера после его детектирования детектором Хаара с целью дальнейшего распознавания символов номера.

Ключевые слова: детектор Хаара, нормализация, дифференциальное изображение, кластеризация.

Рис.: 7. Библ.: 15.

One of the most rapid and reliable detectors of objects is the Haar detector. However this type of detector in the case of its application for the detection of license plates doesn't select exact boundaries of plate. The precise boundaries selection is necessary for further character recognition. The existing normalization algorithms in many cases can not precisely select the boundaries of license plate, which reduces the probability of correct recognition of plate.

This paper describes a method of normalization after the license plate detection by Haar detector for further plate's character recognition.

Key words: Haar detector, normalization, differential image, clustering.

Fig.: 7. Bibl.: 15.

Вступ. Розпізнавання автомобільних номерів представляє великий практичний інтерес, тому що дозволяє скоротити витрати на організацію стоянок для автомобілів, своєчасно виявляти дорожньо-транспортних порушників та оперативно реагувати на події, пов'язані з використанням автомобільного транспорту.

Сучасні програмні продукти, які в змозі розпізнавати номери на відеопотоці, коштують досить дорого. Наприклад, система розпізнавання автомобільних номерів «Номерок 2» коштує 500 євро [1]. Алгоритми, що використовуються в таких комерційних продуктах, є комерційною таємницею, а відкриті алгоритми, які з великою вірогідністю можуть розпізнавати автомобільні номери, відсутні. З цих причин завдання розроблення методів та програмних засобів для розпізнавання автомобільних номерів є актуальною.

У процесі розпізнавання одним із вирішальних етапів є нормалізація зображення автомобільного номера, яка полягає в точному визначенні границь номера та кута його нахилу. Саме від якості нормалізації залежить загальний результат усього процесу розпізнавання автомобільного номера. Крім того, правильне визначення границь номера дає можливість виділити символи на брудних та засвічених номерах за умови, якщо відомий формат номера. Це збільшує загальну результативність усього процесу розпізнавання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Часто для нормалізації автомобільного номера застосовуються оператори Собеля або Лапласа [2] з подальшим пошуком ліній за до-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

помогою перетворення Хафа [3]. Окремі методи використовують такий підхід як перший етап розпізнавання номера [4; 5], тим самим об'єднуючи детектування номера та нормалізацію. Але головним недоліком цього підходу є висока чутливість до різного роду шумів на зображенні (низька якість камери, брудний номер та нечітко виділені границі) [5].

У [6] для пошуку границь та кута повороту номера використовують гістограму яскравостей по горизонтальним лініям. Для цього номер циклічно повертають на певний кут за годинниковою і проти годинникової стрілки і будують гістограма яскравості для кожного такого повороту по нижній області задетектованого зображення. При цьому верхня область не враховувалась, оскільки вона може перебувати в тіні від автомобіля. Для виявлення верхньої межі використовувався детектор Хаара, який був навчений на знаходження символів. Для пошуку лівої і правої межі використовувалася гістограма яскравості по вертикальних лініях. Недолік такого підходу – низька швидкодія і багато випадків недостовірного результату.

Метою статті є опис запропонованого методу нормалізації автомобільного номера після його детектування детектором Хаара з метою подальшого розпізнавання символів номера, в основу якого покладено використання диференціальних зображень.

Вимоги до вхідних та вихідних зображень. Виходячи з проміжного положення етапу нормалізації при розробці методу нормалізації необхідно задати вимоги щодо вхідних та вихідних зображень. Для вхідних зображень ці вимоги повинні стосуватися значення відношення розміру номера до розміру задетектованої області та кута нахилу номера, а для вихідних – границь зображення щодо розташування символів та їх розміру.

Щодо значення відношення розміру номера до розміру задетектованої області необхідно врахувати, що детектор Хаара може задетектувати область вихідного зображення, на якій хоч і буде номер, але він буде займати лише дуже невелику частину задетектованої області. Наприклад, під час проведення експериментів при установці мінімального розміру об'єкта в 100×50 , а максимального в 500×250 пікселів на одному зображенні була задетектована область розміром 450×220 пікселів при розмірі номера на цьому зображенні 151×35 пікселів. У цьому прикладі детектор Хаара видав неправильний результат, оскільки він задетектував не тільки номер, а й всю передню частину автомобіля. До таких областей з номерами не можуть застосовуватися алгоритми нормалізації, адже в такому випадку, фактично, потрібна детекція номера, а не його нормалізація.

Стосовно куту нахилу було встановлено, що детектор Хаара, який ініціювався відповідним каскадом параметрів [7], не детектував номери з кутом нахилу більше 5° . Але зазвичай це не має практичного сенсу, бо при практичному розпізнаванні номерів детектування відбувається завжди у відеопотоці з деякої камери. При цьому більшість номерів мають кути нахилу в межах від -2° до $+2^\circ$, а максимальний кут нахилу, який вдалось виявити на одному із таких відеопотоків становив $+3,5^\circ$ (номер був неправильно закріплений на автомобілі).

Таким чином, вимоги до вхідних зображень методу полягають у такому:

- ширина номера не менше половини та не більше 0,9 ширини вхідного зображення;
- висота номера не менше третини та не більше 0,9 висоти вхідного зображення;
- максимальний кут нахилу номеру не більше 5° .

Зображення, які необхідні для подальшого розпізнавання номера, повинні задовольняти таким вимогам:

- границі результуючого зображення не обрізають символи номера;
- відстань між останньою літерою і правою границею результуючого зображення повинна становити не більше 0,1 його ширини;
- відстань між першою літерою і лівою границею зображення повинна становити не більше 0,15 його ширини;

- відстань між верхньою границею символів номера і верхньою границею результуючого зображення та нижньою границею букв і нижньою границею результуючого зображення повинна бути не більше третини висоти символів.

Саме зображення з такими вимогами будуть вважатися прийнятними для подальшого розпізнавання номера.

Етапи методу нормалізації. Запропонований метод нормалізації складається з таких етапів:

- 1) збільшення чіткості вихідного зображення;
- 2) побудова диференціальних зображень;
- 3) вирівнювання гістограми побудованих диференціальних зображень;
- 4) виявлення і групування прямих ліній по диференціальним зображенням;
- 5) вибірка горизонтальних ліній, що можуть вказувати на верхню та нижню границі номера;
- 6) визначення кута нахилу номера;
- 7) відсів вертикальних прямих, що не належать номеру;
- 8) визначення границь номера;
- 9) перевірка адекватності визначених границь.

Збільшення чіткості вихідного зображення. Збільшення чіткості вихідного зображення підвищує результативність усього методу нормалізації. Найпростіший варіант поліпшення чіткості вихідного зображення – використання операції згортки з таким оператором [8]:

$$\begin{bmatrix} -0.1 & -0.1 & -0.1 \\ -0.1 & 2 & -0.1 \\ -0.1 & -0.1 & -0.1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Побудова диференціального зображення. Принцип побудови спеціального зображення, яке в цій статті називається диференціальним, заснований на виконанні операції згортки з такими диференціальними операторами [9]:

$$[1 \quad -1], \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Але на відміну від виконання згортки з такими операторами, кожен піксель диференціального зображення являє собою різницю або модуль різниці між пікселем вихідного зображення і його горизонтальним чи вертикальним сусідом, при виконанні деякої умови або без умови. Умовні позначання сусідів пікселя та осей координат зображення показані на рис. 1.

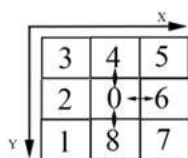


Рис. 1. Центральний піксель, його сусіди та осі координат зображення

Для запропонованого методу нормалізації необхідно побудувати три диференціальні зображення.

Перше диференціальне зображення являє собою зображення того ж розміру, що і вихідне, в якому яскравість кожного пікселя дорівнює модулю різниці між пікселем вихідного зображення і правим його сусідом (на рис. 1 0-й піксель – піксель, що розглядається, 6-й піксель – його правий сусід).

Друге диференціальне зображення являє собою зображення того ж розміру, що і вихідне, в якому яскравість кожного пікселя дорівнює різниці між пікселем вихідного зо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

браження і нижнім його сусідом (0-й і 8-й пікселі рис. 1) за умови, що яскравість пікселя більше яскравості його нижнього сусіда.

Третє диференціальне зображення являє собою зображення того ж розміру, що і вихідне, в якому яскравість кожного пікселя дорівнює різниці між пікселем вихідного зображення і верхнім його сусідом (0-й і 4-й пікселі рис. 1) за умови, що яскравість пікселя більше яскравості його верхнього сусіда.

Яскравість пікселів диференціальних зображень, які не мають відповідних сусідів або для яких не виконується відповідна умова, встановлюється в 0.

Вирівнювання гістограми диференціальних зображень. Необхідність цього кроку пов'язана з тим, що діапазон яскравостей пікселів побудованих диференціальних зображень зазвичай менше половини можливого діапазону яскравостей пікселів (0-255). Збільшення діапазону здійснюється шляхом вирівнювання гістограми зображення [10], що є набагато простіше, ніж розрахунок порогового значення, за яким буде визначатись можливість належності пікселя лінії на четвертому кроці.

На рис. 2 показані вихідні зображення (а) та побудовані для них диференціальні зображення з вирівняними гістограмами (б, в, г).



Рис. 2. Вхідне (а) та диференціальні зображення з різницею 0-20 і 6-20 (б), 4-20 і 0-20 (в) та 0-20 і 8-20 (г) пікселів

Вибірка і групування прямих ліній по диференціальному зображенню. На цьому кроці методу на побудованих зображеннях необхідно знайти вертикальні та горизонтальні прямі лінії.

На вихідних зображеннях номер не може займати менше половини ширини зображення (одна з умов вихідних зображень), але через те, що номер може знаходитися під кутом або через те, що границі номера можуть бути погано виділені, необхідно шукати горизонтальні лінії, які займають менше половини ширини вихідного зображення. Крім того, необхідно вибрати поріг яскравості, значення якого буде вказувати на те, що певний піксель може належати до якоїсь лінії.

Емпіричним шляхом було встановлено, що поріг яскравості величиною 127 (при діапазоні 0-255), мінімальний розмір лінії по горизонталі рівний восьмій частині ширини вихідного зображення і мінімальний розмір лінії по вертикалі рівний шостій частині висоти вихідного зображення є оптимальними для цього завдання.

Координати знайдених прямих ліній необхідно зберегти для подальшої обробки. На рис. 3 показані знайдені лінії для відповідних диференціальних зображень з рис. 2 (б, в, г).

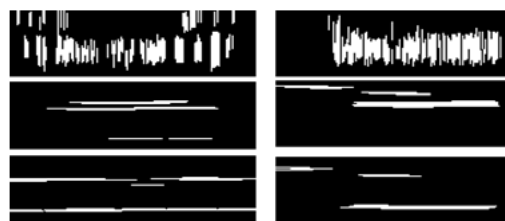


Рис. 3. Знайдені прямі лінії для відповідних диференціальних зображень

Як свідчать наведені зображення, область номера досить добре проглядається на зображенні з вертикальними лініями. Однак як вертикальні, так і горизонтальні лінії самі по собі часто не можуть свідчити про межі номера. Так, на першому номері вертикальні лінії захоплюють зліва і справа невелику область, що не відноситься до номера, а горизонтальні лінії дають відповідність по висоті, але не по ширині. Крім того, на деяких номерах без вертикальних ліній неможливо встановити, які ж горизонтальні лінії відносяться до номера через велику їх кількість. Тому пропонується використовувати комбінацію горизонтальних і вертикальних ліній для визначення меж номера.

Для визначення границь номера по горизонталі необхідно провести угруповання ліній з метою зменшення їх кількості та визначення більш точного положення границь номера по осі Y . Фактично необхідно провести кластеризацію [11] з об'єднанням сусідніх ліній. Причому об'єднувати потрібно тільки ті лінії, які були отримані з того ж самого диференціального зображення. Не слід змішувати і групувати лінії, отримані з різних диференціальних зображень. Оскільки вихідне число кластерів є невідомим, то слід використовувати ієрархічний метод кластеризації [12], а саме – агломеративний метод [12], який виконує угруповання вихідних кластерів (ліній). Кластеризацію горизонтальних ліній слід проводити тільки за значеннями осі Y , оскільки через розташування номера під кутом кластеризація по осі X може привести до неправильних результатів. Відстань між кластерами слід оцінювати по відстані між їх середніми значеннями, які являють собою середне по осі Y для прямих, що входять у кластер.

Однак найбільша проблема ієрархічного кластерного аналізу, яка достовірно не вирішується жодним чином [13], – умова зупинки кластеризації. Емпірично було встановлено, що кластеризацію для горизонтальних ліній слід припинити, як тільки відстань між кластерами стане більшою, ніж десята частина висоти вихідного зображення. Крім того, у процесі кластеризації необхідно визначити мінімальне і максимальне значення по осі Y для прямих, які входять в отримані кластери.

При угрупованні горизонтальних прямих за їх значенням по осі Y групуються прямі, які можуть не з'єднуватися одна з одною. На рис. 4 показані розриви прямої одного з зображень рис. 3 (один з розривів непомітний через алгоритм відображення прямих).



Рис. 4. Розриви лінії

З вихідного зображення (рис. 2, *a*) видно, що як ліва, так і права частина прямої не відноситься до номера. Отже, у цьому випадку вони не повинні враховуватися. Що стосується інших номерів, які були задетектовані у процесі розроблення методу, то було встановлено: відсіювання прямих, які не з'єднуються з найдовшим ланцюжком прямих, які «торкаються» одна одній у кластері, позитивно позначається на кінцевому результаті нормалізації. Було проаналізовано 598 вихідних зображень номерів (одна з вибірок), і тільки на одному з них був присутній розрив, який поділяв нижню межу номера (нижній кластер) на дві частини й ускладнював подальшу нормалізацію. На інших номерах розривів або не було, або їх усунення покращувало нормалізацію. Тому для всіх кластерів необхідно знайти найдовший ланцюжок пов'язаних прямих і визначити мінімальне і максимальне значення цього ланцюжка по осі X . У цей ланцюжок повинні входити усі лінії, які з'єднуються один з одним.

Результати кластеризації горизонтальних прямих на рис. 3 після відсіву прямих, що не з'єднуються з найдовшим ланцюжком, показані на рис. 5.



Рис. 5. Результати кластеризації і відсіву прямих

Для вертикальних ліній також необхідно виконати кластеризацію по осі Y. Відмінність від попереднього випадку полягає тільки в тому, що для горизонтальних ліній значення по осі Y однакове для всіх точок прямої, а для вертикальних ліній воно змінюється. Як показали дослідження, слід проводити кластеризацію вертикальних ліній по двох точках – по верхній і по нижній точці вертикальної лінії. Тобто спочатку необхідно сформувати набір значень верхніх точок всіх вертикальних прямих по осі Y. Потім над цим набором необхідно провести кластеризацію. Далі необхідно сформувати набір значень за значеннями осі Y нижньої точки всіх вертикальних прямих і знову здійснити кластеризацію.

Проблема зупинки кластеризації залишається відкритою, проте для цієї задачі було встановлено, що кластеризацію слід обов'язково продовжувати до того моменту, поки відстань між кластерами не стане більшою, ніж десята частина висоти вихідного зображення. Після цього її слід продовжувати за умови, що відстань між кластерами менше третини висоти вихідного зображення або різниця відстаней між попередньою і поточною ітерацією становить менше десятої частини висоти вихідного зображення. Для зазначених на початку обмежень така кластеризація дозволяє відсіяти вертикальні прямі, які не належать номеру.

Використання результатів угруповання прямих ліній для визначення меж і кута нахилу номера. На цьому кроці перш за все необхідно вибрати два кластери (один – з кластерів верхньої точки, другий – з кластерів нижньої точки), які містять найбільшу кількість точок. На всіх задетектованих номерах саме такі кластери відносились до області номера.

Далі необхідно сформувати всі можливі пари кластерів, які були отримані з угруповання горизонтальних прямих (далі вони будуть називатись «горизонтальними кластерами») і які можуть показувати верхню і нижню межі номера. Пари повинні складатися з кластера, отриманого з диференціального зображення, що показує верхню межу номера (з різницею 8-го і 0-го пікселів) і кластера, що показує нижню межу номера (з різницею 0-го і 8-го пікселів). Пару горизонтальних кластерів, яка може представляти межі номера, слід визначати за умовою відстані по осі Y між цими кластерами. Якщо відстань між ними більше, ніж третина висоти вихідного зображення – кластери можуть являти собою пару, яка показує верхню і нижню межі номера. В іншому випадку – кластери не можуть вказувати на межі номера. Якщо не існує жодної пари кластерів, яка б відповідала вищезазначеній умові, то визначення границь номера за допомогою горизонтальних кластерів та кута його повороту виявляється неможливим. Тому необхідно одразу перейти на крок визначення границь номера за умови невідповідності горизонтальних кластерів області номера (8-й крок).

Після формування всіх можливих пар горизонтальних кластерів необхідно вибрати найбільш ймовірну пару, яка буде вказувати на верхню і нижню межу номера. Для такого визначення необхідно використовувати кластери, отримані з кластеризації вертикальних ліній. Для опису алгоритму вибору пари горизонтальних кластерів, введемо такі позначення:

- 1) $\min X_1, \min X_2$ – початкові координати по осі X ліній, що входять у верхній і нижній горизонтальний кластер відповідно;
- 2) $\max X_1, \max X_2$ – кінцеві координати по осі X ліній, що входять у верхній і нижній горизонтальний кластер відповідно;
- 3) $\text{width}, \text{height}$ – ширина і висота вихідного зображення;
- 4) $\text{value}H_1, \text{value}H_2$ – значення першого і другого горизонтального кластерів;
- 5) $\text{value}V_1, \text{value}V_2$ – значення першого і другого вертикального кластерів;
- 6) $\text{abs}(x)$ – абсолютне значення змінної x ;

7) $\&\&$ – логічне «І».

Алгоритм вибору пари горизонтальних кластерів такий:

1) вибираємо поточну пару кластерів;

2) якщо пара відповідає умові:

$\text{abs}(\text{minX1} - \text{minX2}) < 0.2 * \text{width} \&\& \text{abs}(\text{maxX1} - \text{maxX2}) < 0.2 * \text{width} \&\& \text{valueH1} \leq \text{valueV1} + 0.05 * \text{height} \&\& \text{valueH2} \geq \text{valueV2} - 0.05 * \text{height}$,

то розраховуємо для такої пари відхилення значень горизонтальних кластерів від кластерів вертикальних (відхилення – $\text{abs}(\text{valueH1} - \text{valueV1}) + \text{abs}(\text{valueH2} - \text{valueV2})$) і запам'ятовуємо таку пару;

3) повторюємо другий крок для всіх пар;

4) якщо кількість пар, які відповідають умові на кроці 2 не дорівнює 0, то вибираємо пару з мінімальним відхиленням;

5) в іншому випадку рахуємо відхилення для всіх пар і вибираємо пару з мінімальним відхиленням.

У цьому алгоритмі на кроці 2 до значень вертикальних кластерів додається і віднімається $0.05 * \text{height}$ з тієї причини, що на деяких номерах значення вертикальних кластерів може бути трохи вище або нижче, ніж значення горизонтальних кластерів. Хоча здебільшого значення першого вертикального кластера більше (на зображеннях вісь Y збільшується вниз) значення горизонтального кластера, а значення другого вертикального кластера навпаки – менше.

Після вибору найбільш імовірної пари горизонтальних кластерів, які вказують на верхню і нижню границі номера, можна визначити кут нахилу номера за допомогою прямих, які входять у такі кластери. Для цього можна використовувати перетворення Хафа [3] або метод головних компонент [14]. У поточній реалізації методу для визначення кута нахилу номера використовується метод головних компонент, реалізація якого доступна в бібліотеці OpenCV [15]. Єдине перетворення даних, яке потрібно виконати до виклику стандартних методів бібліотеки, – створення масиву точок із множини прямих, що входять в горизонтальні кластери. Причому підрахунок кута за допомогою методу головних компонент запускається два рази – для набору точок прямих кластера, що вказує на верхню межу, і для набору точок прямих кластера, який вказує на нижню межу. Загальний кут визначається середнім значенням двох розрахованих кутів. Далі вихідне зображення повертається на вирахований кут. Приклади вихідних і результуючих зображень після повороту показані на рис. 6.

Після повороту для номерів, у яких кут нахилу виявився більше 1° , слід повторити кроки починаючи від визначення горизонтальних і вертикальних прямих ліній і закінчуючи кроком повороту. Причина необхідності повтору цих кроків полягає в тому, що при кластеризації вертикальних ліній деякі лінії, які відносяться до області номера, можуть через відносно великий кут повороту ($>1^\circ$) прираховуватись до кластерів, які не відносяться до області номера. Через це при визначенні границь номера зображення зліва або справа може сильно обрізатись, що унеможливить подальше розпізнавання номера.



Рис. 6. Зображення до і після повороту на розрахований кут

Відсів вертикальних прямих. На цьому кроці відсіюються вертикальні прямі, які водночас не входять в обидва сформованих вертикальних кластера. При цьому також

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

необхідно відсіяти прямі, які входять у ці кластери, але які знаходяться на зображенні на певній відстані ліворуч і праворуч від основної групи прямих (прямі, що знаходяться на віддалі від більшості інших прямих, не належать номеру). У ході досліджень було встановлено, що відсів прямих, що лежать на відстані один від одного більшому, ніж 0,12 ширини вихідного зображення, позитивно позначається на кінцевому результаті нормалізації.

Визначення границь номера. Спочатку вибираються межі по осі X. При цьому алгоритм вибору лівої границі включає такі кроки:

1) вибрати координату по осі X (назвемо її $\min X_{ByY}$) найлівішої вертикальної прямої (після проведеного раніше відсіву);

2) порівняти $\min X_{ByY}$ з мінімальною координатою по осі X верхнього горизонтального кластера (назвемо її $\min X_{ByH1}$). Якщо різниця між ними не більше 0,02 ширини вихідного зображення, то ліву границю номера визначити як мінімальне значення $\min X_{ByY}$ і $\min X_{ByH1}$;

3) в іншому випадку порівняти різницю мінімальної координати по осі X нижнього горизонтального кластера ($\min X_{ByH2}$) з $\min X_{ByY}$. Якщо різниця між ними не більше 0,02 ширини вихідного зображення, то ліву границю номера визначити як мінімальне значення $\min X_{ByY}$ і $\min X_{ByH2}$;

4) в іншому випадку порівняти різницю $\min X_{ByH1}$ і $\min X_{ByH2}$. Якщо різниця між ними не більше десятої частини ширини номера, то ліву границю номера визначити як мінімальне значення між $\min X_{ByH1}$ і $\min X_{ByH2}$. Але при цьому якщо різниця між $\min X_{ByY}$ і визначеної межею більше десятої частини ширини вихідного зображення, то ліву границю слід визначити як $\min X_{ByY}$;

5) в іншому випадку ліва межа – $\min X_{ByY}$.

Алгоритм вибору правої границі аналогічний алгоритму вибору лівої границі (тільки використовуються не мінімальні координати по осі X, а максимальні).

Верхня і нижня межі номера визначаються за значеннями верхнього і нижнього горизонтальних кластерів відповідно.

На деяких номерах було виявлено, що обрані горизонтальні лінії можуть не відповідати номеру. Через це вибір границь (як по осі X, так і по осі Y) за допомогою горизонтальних кластерів може бути неадекватним. Тому необхідно перевіряти відхилення значень горизонтальних кластерів від значень кластерів вертикальних. Введемо наступні позначення для опису умов, за яких горизонтальні кластери найімовірніше не належать номеру:

1) $value1$, $value2$ – значення верхнього та нижнього горизонтальних кластерів;

2) $maxPointMinus$, $maxPointPlus$ – мінімальне і максимальне значення по осі Y прямих, що входять у верхній і нижній вертикальний кластер;

3) $height$ – висота вихідного зображення;

4) $\&\&$ – логічне «І».

Умова, за якої верхній горизонтальний кластер слід вважати таким, що не належить номеру, полягає в наступному:

$$value1 < maxPointMinus \&\& maxPointMinus - value1 > 0.08 * height.$$

Умова, за якої нижній горизонтальний кластер слід вважати таким, що не належить номеру:

$$value2 > maxPointPlus \&\& value2 - maxPointPlus > 0.08 * height.$$

Якщо горизонтальний кластер не належить номеру, то слід змінити ту границю по осі Y, яка була визначена за допомогою цього кластера. Тобто для верхнього кластера – це верхня границя, а для нижнього – нижня. Границю по осі Y слід визначити як $maxPointMinus$ або $maxPointPlus$ при невідповідності верхнього або нижнього класте-

рів. Також у цьому випадку слід визначити ліву і праву границю номера як $\min X_{ByY}$ і $\max X_{ByY}$ відповідно.

Перевірка адекватності визначених границь. На цьому кроці методу слід перевірити співвідношення висоти до ширини визначеної області, оскільки на одному номері було виявлено, що на нижній лінії номера був розрив, через який горизонтальні кластери неправильно визначали праву границю номера – вона була визначена приблизно по центру номера. Тому, якщо відношення ширини до висоти номера більше 0,32, то ліву і праву межу слід встановити у значення $\min X_{ByY}$ і $\max X_{ByY}$ відповідно.

Результати. Конкретна реалізація методу для вихідних зображень з вказаними на початку обмеженнями була протестована в режимі реального часу за допомогою камери, спрямованої на автомобільну трасу. Було зафіксовано близько 870 різних автомобільних номерів (всього було зафіксовано 1741 вихідне зображення, враховуючи, що деякі номери детектувались по 2 рази). Із цієї вибірки алгоритм дав збій тільки на чотирьох автомобільних номерах. Приклади правильної і неправильної роботи алгоритму показані на рис. 7.

Висновки. Створений метод справляється з поставленим завданням нормалізації. Здебільшого він точно знаходить границі номера, що дозволяє визначити розташування символів для їх подальшого розпізнавання.

Правильність роботи методу залежить від зображень, які подаються на його вхід та від параметрів алгоритмів, які використовуються в ньому. Однак якщо говорити про ймовірності, які були отримані в результаті тестування описаного методу для конкретної вибірки, то відсоток правильних результатів становить $(870 - 4) / 870 = 99,54\%$, а неправильних – $0,46\%$.

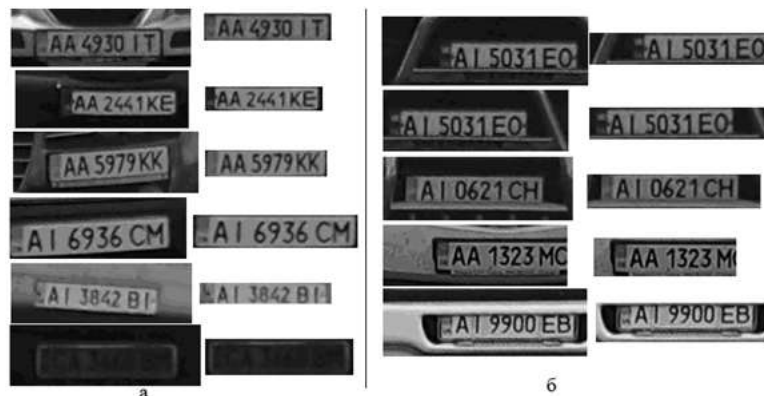


Рис. 7. Вхідні зображення і правильні результати роботи методу (а) та вхідні зображення і неправильні результати роботи методу (б)

Водночас, описаний метод має свої недоліки. По-перше, слабким місцем методу є відсіви вертикальних прямих, які не належать номеру. На поточний момент умова відсіву прямих задана статично і для поточної задачі становить 0,12 ширини вихідного зображення. Але для деяких номерів необхідно відкидати прямі, які знаходяться на відстані в 0,08 ширини вихідного зображення. Доопрацювання цієї частини методу з метою динамічного визначення відстані, за якої необхідно відкидати вертикальні прямі, дозволить правильно визначати границі номера для вихідних зображень з бамперами, заглибленнями і т. ін.

По-друге, умови зупинки кластеризації ґрунтовані на висоті вихідного зображення. Через це знижується правильність кластеризації, що погіршує кінцевий результат роботи методу. Якщо умова зупинки кластеризації не буде залежати від висоти вихідного зображення, то, по-перше, зросте точність визначення границь номера, а по-друге, метод з деякими модифікаціями можна буде застосовувати для детектування номерів.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

По-третє, метод має досить багато кроків, що негативно позначається на його швидкодії. Програма, за допомогою якої відбувалось тестування конкретної реалізації методу, використовує каскад Хаара для детектування автомобільних номерів у відеопотоці. Роздільна здатність кадрів, які подаються на вхід програми, становить 878×552 . Мінімальний розмір номера був встановлений у 100×50 , а максимальний – у 190×90 . Поточна реалізація методу завантажувала процесор приблизно на 60 % менше, ніж детектування номерів при таких параметрах. Однак для кроку нормалізації це досить великий результат.

Подальша робота над зазначеними проблемами дозволить поліпшити якість цього методу.

Список використаних джерел

1. Система распознавания автомобильных номеров «НомерОК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://avtonomerok.su>.
2. Оператор Собеля и Лапласа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://robocraft.ru/blog/computervision/460.html>.
3. OpenCV шаг за шагом. Преобразование Хафа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://robocraft.ru/blog/computervision/502.html>.
4. Martinsky O. Algorithmic and mathematical principles of automatic number plate recognition systems [Электронный ресурс] / O. Martinsky. – Режим доступа : <http://javaanpr.sourceforge.net/anpr.pdf>.
5. Rasheed S., Naeem A., Ishaq O. Automated number plate recognition Using Hough Lines and template matching [Электронный ресурс] / S. Rasheed, A. Naeem, O. Ishaq. – Режим доступа : http://www.iaeng.org/publication/WCECS2012/WCECS2012_pp199-203.pdf.
6. Распознавания автомобильных номеров в деталях [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/225913/> (Дата доступа 28.09.2016)
7. haarcascade_russian_plate_number.xml [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://github.com/opencv/opencv/blob/master/data/haarcascades/haarcascade_russian_plate_number.xml.
8. OpenCV шаг за шагом. Обработка изображения – свёртка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://robocraft.ru/blog/computervision/427.html>.
9. Фисенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
10. Histogram Equalization [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/histograms/histogram_equalization/histogram_equalization.html.
11. Кластеризация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Кластеризация>.
12. Методы кластерного анализа. Иерархические методы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/182?page=2>.
13. Бериков В. Б. Современные тенденции в кластерном анализе [Электронный ресурс] / В. Б. Бериков, Г. С. Лбов. – Режим доступа : <http://www.ict.edu.ru/ft/005638/62315e1-st02.pdf>.
14. OBJECT ORIENTATION, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS & OPENCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://robospace.wordpress.com/2013/10/09/object-orientation-principal-component-analysis-opencv/>.
15. OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://opencv.org/>.

References

1. Sistema raspoznavanija avtomobilnykh nomerov «NomerOK» [The car's plate recognition system «NomerOK»]. Retrieved from <http://avtonomerok.su/>.
2. Operator Sobelja i Laplasa [Sobel and Laplace operator]. Retrieved from <http://robocraft.ru/blog/computervision/460.html>.
3. OpenCV shag za shagom. Preobrazovanie Hafa [OpenCV step by step. Hough transformation]. Retrieved from: <http://robocraft.ru/blog/computervision/502.html>.
4. Martinsky O. Algorithmic and mathematical principles of automatic number plate recognition systems. Retrieved from <http://javaanpr.sourceforge.net/anpr.pdf>.

5. Rasheed S., Naeem A., Ishaq O. *Automated number plate recognition Using Hough Lines and template matching*. Retrieved from http://www.iaeng.org/publication/WCECS2012/WCECS2012_pp199-203.pdf.
6. *Raspoznavaniia avtomobilnykh nomerov v detaliakh [License plate recognition details]*. Retrieved from <https://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/225913/>.
7. *haarcascade_russian_plate_number.xml*. Retrieved from: https://github.com/opencv/opencv/blob/master/data/haarcascades/haarcascade_russian_plate_number.xml.
8. *OpenCV shag za shagom. Obrabotka izobrazheniia – sviortka [OpenCV step by step. Image processing – convolution]*. Retrieved from <http://robocraft.ru/blog/computervision/427.html>.
9. Fisenko, V.T. (2008). *Kompiuternaia obrabotka i raspoznavanie izobrazhenii [Computer image processing and recognition]*. Saint-Petersburg: SPbGUITMO Publisher (In Russian).
10. *Histogram Equalization*. Retrieved from http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/histograms/histogram_equalization/histogram_equalization.html.
11. *Klasterizatsiia [Clusterization]*. Retrieved from <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Кластеризация>.
12. *Metody klasterного analiza. Ierarkhicheskie metody [Methods of cluster analysis. Hierarchical methods]*. Retrieved from <http://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/182?page=2>.
13. Berikov, V.B., Lbov, G.S. *Sovremennye tendentsii v klasterном analize [Current trends in the cluster analysis]*. Retrieved from <http://www.ict.edu.ru/ft/005638/62315e1-st02.pdf>.
14. *OBJECT ORIENTATION, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS & OPENCV*. Retrieved from <https://robospace.wordpress.com/2013/10/09/object-orientation-principal-component-analysis-opencv/>.
15. *OpenCV*. Retrieved from <http://opencv.org/>.

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

Заровський Руслан Владиславович – кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна)

Заровский Руслан Владиславович – кандидат технических наук, доцент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Zarovsky Ruslan – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: rolandzar@ukr.net

Радченко Андрій Олексійович – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Радченко Андрей Алексеевич – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

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

E-mail: teor292@gmail.com

Володимир Казимир, Ігор Карпачев

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ ЗАСТОСУВАНЬ МЕТОДОМ СИСТЕМНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ВБУДОВАНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАГРОЗ

Владимир Казимир, Игорь Карпачев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА ПРИЛОЖЕНИЙ МЕТОДОМ СИСТЕМНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ВСТРОЕННЫХ МОДЕЛЕЙ УГРОЗ

Volodymyr Kazymyr, Ihor Karpachev

APPLICATION'S CONTROL SUPPLY TO SYSTEM SECURITY METHOD BASED ON EMBEDDED THREAT MODELS

Наведено аналіз існуючих програмних платформ з погляду управління правами доступу до системних ресурсів, сформульовано основні підходи до моделювання загроз з боку застосувань та вирішено питання удосконалення існуючих методів контролю доступу до системних ресурсів за допомогою розробленого методу системної безпеки на основі вбудованих моделей загроз.

Ключові слова: безпека, безпечні застосування, методи контролю прав доступу, Android, операційні системи, безпечно використання застосувань.

Рис.: 2. Бібл.: 19.

Приведен анализ существующих программных платформ с точки зрения управления правами доступа к системным ресурсам, сформулированы основные подходы к моделированию угроз со стороны приложений и решены вопросы усовершенствования существующих методов контроля доступа к системным ресурсам с помощью разработанного метода системной безопасности на основании встроенных моделей угроз.

Ключевые слова: безопасность, безопасные приложения, методы контроля прав доступа, Android, операционные системы, безопасное использование приложений.

Рис.: 2. Библ.: 19.

In this article there is an analysis provided of existing platforms in terms of their influence on functioning of operating systems, there are main approaches are forming to modeling threats from applications and solving task of improving existing methods of the control access to system resources by using developed method of system security based on embedded threats model.

Key words: safety, safe application methods to control access rights, Android, operating systems, secure use of applications.

Fig.: 2. Bibl.: 19.

Постановка проблеми. Для найперших операційних систем з притаманною їм архітектурою існувала достатньо примітивна система контролю прав та рівнів доступу. З роками функціональність програм розширювалася і необхідність у розподіленому контролі дозволів зростала. Сучасні системи стали підтримувати різні методи контролю прав та рівнів доступу застосувань. Незважаючи на це, велика кількість застосувань для сучасних операційних систем підвищує ризик компрометування приватних даних користувачів.

У 1980-х роках більшість комп'ютерів спільно використовувалися кількома людьми. Користувачі писали багато програм, які працювали на загальних комп'ютерах, та іноді шпигували або робили шкоду один одному. Механізми безпеки операційної системи були розроблені для захисту користувачів один від одного, а програми працювали від імені користувача, що їх запустив. Головною метою безпеки було ізолювати користувачів, забезпечуючи контроль обміну між користувачами [1].

У наш час, виходячи з наявності існуючих сервісів розміщення застосувань, користувачі мають спокусу їх легкого завантаження, щоб доповнити роботу своїх смартфонів, комп'ютерів, веб-браузерів та сайтів соціальних мереж. Наприклад, станом на 2015 рік, Google Play налічував більш ніж 10 000,000 застосувань Android, платформа Facebook підтримує більше ніж дев'ять мільйонів, і Apple App Store налічує понад 600,000 ОС IOS застосувань [2]. При цьому застосування, що пропонуються широким колом розробників, можуть створювати небезпеку для користувача. Так, деякі з застосувань активно збирають особисту інформацію про своїх користувачів. Інші шкідливі

програми використовують тактику соціальної інженерії, щоб переконати користувачів встановити їх. Застосування можуть також поміщати користувачів під загрозу зовнішніх (наприклад, мережних) атак, що задають вразливості, оскільки сторонні виробники застосувань, як правило, не є експертами в галузі безпеки [3].

Виникає питання, як допомогти розробникам застосувань уникнути цих загроз, підтримуючи при цьому широкий спектр різноманітних функцій? Традиційні механізми захисту користувачів у цьому випадку більше не підходять. Тому сучасні платформи перейшли до нової моделі безпеки, в якій кожне застосування має свій набір дозволів, заснованих на своїх вимогах. За цією моделлю програми, що керуються дозволами, мають доступ до відповідних системних ресурсів, так що користувачі можуть самі вирішити, чи слід надавати окремим програмам доступ до цих важливих ресурсів [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. UNIX, VAX/VMS і Multics – три приклади операційних систем розподілу часу. Вони були побудовані з передбаченням загрози зловмисників. UNIX пов'язує біти захисту з кожним файлом, що визначають, які користувачі можуть читати, писати і виконувати цей файл. Коли програма виконується, вона, як правило, може отримати доступ тільки до тих файлів, до яких користувач може отримати доступ. У VAX/VMS користувачі відносяться до одного з семи рівнів привілеїв, і процеси виконуються з рівнями привілеїв, посиляючись на користувачів, якщо інше не вказано системним адміністратором. Multics процеси так само працюють від імені користувача, але співробітники ВВС США виявили, що у Multics був потенціал для забезпечення ізоляції користувача достатньо, щоб зберігати секретні файли військових. Сучасні настільні операційні системи (наприклад, Windows, Mac OS X) успадкували модель управління доступом схожим на UNIX. У результаті, ці платформи як і раніше переважно надають всі права доступу до застосувань користувача [2].

Враховуючи наявність зловмисних користувачів, Сальтцер і Шредер [5] визначили сім принципів проектування систем безпеки: економіка механізму, безвідмовність за замовчуванням, повне посередництво, відкрита конструкція, поділ привілеїв, найменший рівень привілеїв, найменший спільний механізм та психологічний фактор. Ці принципи забезпечили основу сучасної комп'ютерної безпеки. Для прикладу, найменший привілей означає, що кожна програма і кожен користувач системи повинен працювати, використовуючи найменший набір привілеїв, необхідних для виконання завдання. Отже, цей принцип, в першу чергу, обмежує шкоду, яка може виникнути в результаті нещасного випадку або помилки. У свою чергу, психологічний фактор вимагає, щоб інтерфейс був розроблений для простоти використання, надаючи користувачам можливість правильно, регулярно й автоматично застосовувати механізми захисту. Хоча ці принципи механізмів безпеки, які захищають користувачів один від одного, були викладені давно, вони досі актуальні в контексті сучасних шкідливих застосувань [6].

Але основним у формулюванні невирішеної загальної проблеми є статична природа перегляду дозволів при початковому встановленні застосування. При подальшому використанні немає гарантії, що застосування не буде використовувати доступ до будь-яких ресурсів пристрою з шкідливою метою. Подібний недолік дає підґрунтя для маскування намірів застосування під широкий набір дозволів, як, наприклад, це зроблено у файлі маніфесту в ОС Android.

Метою цієї статті є порівняння методів контролю доступу застосувань в сучасних операційних та програмних середовищах, формулювання основних підходів до моделювання загроз з боку застосувань та обґрунтування методу системної безпеки ОС Андройд.

Порівняння системних платформ управління доступом.

Java. Java-аплети були одними з перших екземплярів мобільного коду. Вони, зазвичай, поширюються як частина веб-сайтів. За замовчуванням аплети непривілейовані.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Для аплетів існувало кілька способів, щоб отримати доступ до додаткових привілеїв. Точний механізм залежав від браузера та версії Java. У деяких випадках користувачі були залучені у процес надання дозволів [7].

CapDesk. Робочий стіл із системою безпеки на основі мандатних посилань. За замовчуванням програми не мають ніяких привілеїв. У CapDesk деякі дозволи (можливості) вимагають схвалення користувача або взаємодії. Застосування на цій платформі, зазвичай, запитують дозволу, коли вони запускаються. Та застосування можуть запросити додаткові дозволи і під час виконання. Розробники повинні запросити можливості з центрального «PowerBox», який розподіляє дозволи у частині застосування, яка вимагає їх [8].

Symbian. Це операційна система для смартфонів. Вона була однією з перших мобільних операційних систем з підтримкою встановлення довільних програм сторонніх розробників. Symbian пропонує послугу підпису застосування, і тільки підписані застосування можуть отримати доступ до критичних дозволів Symbian. Підписані застосування автоматично отримують всі необхідні дозволи без згоди користувача. Проте Symbian пропонує користувачеві надати дозволи під час встановлення непідписаних застосувань. Непідписані застосування можуть запросити тільки кілька дозволів, таких як підключення до мережі. Інші можливості недоступні для непідписаних застосувань. Розробники повинні визначити права доступу, які вимагають їх застосування і в разі необхідності застосувати процес підписання застосування Symbian [9].

Blackberry. Операційна система для смартфонів, яка також підтримує сторонні застосування. Коли користувач встановлює застосування Blackberry, користувачеві пропонується надати йому «статус довірених застосувань». Довірене застосування може запитувати й отримувати дозволи без запиту користувача, хоча користувач може змінити права доступу, надані в установках пристрою BlackBerry. Застосування, які не належать до BlackBerry market, повинні запитувати у користувача отримання певних дозволів. Застосування на цій платформі можуть попросити дозволу в будь-який час, хоча більшість запитують при першому запуску. Дозволи Blackberry охоплюють налаштування телефону, призначені для користувача, Bluetooth, WiFi та ін. Розробники повинні ініціювати запити дозволу, перш ніж намагатися використовувати виклики API [10].

Windows UAC. У Windows Vista та Windows 7 користувачам рекомендується запускати застосування з облікового запису користувача з низьким рівнем привілеїв. Програми запускаються з повними привілеями користувача, але з низьким рівнем привілеїв облікового запису, що не надає їм повного списку привілеїв. Будь-яке застосування може запитувати нові привілеї в службі захисту користувачів (UAC), якщо це необхідно. За допомогою контролю облікових записів діалоговий дозвіл з'являється щоразу, коли програма намагається виконати привілейовану дію. Для того, щоб використовувати контроль облікових записів, розробник повинен перерахувати ресурси контролю облікових записів, які потрібні застосуванню у файлі маніфесту. Діалог буде показано для надання дозволу, коли програма намагається отримати доступ до ресурсу [11].

Facebook. Підтримує сервіс застосувань сторонніх виробників. Зі схвалення користувачів застосування можуть отримувати доступ до даних профілю, друзів та списку активності. Застосування можуть попросити дозволу в будь-який час, хоча більшість просять дозволу під час інсталяції [12].

IOS. Операційна система IOS використовується смартфонами і планшетами. Користувачі ОС IOS можуть запускати сторонні застосування, які вони завантажують з Apple App Store. Apple дуже критично тестує всі застосування перед тим, як вони попадуть до офіційного сервісу App Store. Після цього огляду застосування можуть отримати доступ до більшості привілеїв без схвалення користувачем. Тим не менш, деякі привілеї

вимагають явного дозволу користувача. У версіях ОС IOS 5 і більш ранніх версіях дозволу користувачів управління регулюють доступ до GPS та повідомлень. У IOS 6 права доступу також необхідні для контактів, календаря та бібліотеки фотографій. Система показує діалог запиту привілеїв у перший раз, коли розробник намагається отримати доступ до ресурсів [13].

Bitfrost. One Laptop Per Child (проект OLPC) поширює недорогі ноутбуки для дітей в країнах, що розвиваються. Bitfrost - це модель безпеки для OLPC операційної системи. У Bitfrost застосування є непривілейованими за замовчуванням. Вони повинні запитувати привілеї від користувача. Дозволи можуть бути запитані як при запуску застосування, так і під час виконання [14].

Браузери. Веб-сайти пісочниці в браузері за замовчуванням не можуть отримати доступ до локальних файлів або інших призначених для користувача даних. Однак сучасні браузери починають пропонувати додаткові ресурси для веб-сайтів.

Розширення Google Chrome. Платформа розширень Google Chrome дозволяє створити сторонні розширення для додавання функціональності в браузер та зміни вигляду веб-сайтів. Для того, щоб отримати доступ до веб-сайтів або призначених для користувача даних, розширення Google Chrome повинно запросити дозволу. Розробники перераховують дозволи у файлі маніфесту, а користувачі схвалюють запити дозволів під час інсталяції.

Платформа розширень Google Chrome була першою платформою розширень для браузера, яка мала певну систему дозволів. Firefox та Internet Explorer надають всі розширення з повними привілеями [15].

Android. Операційна система для смартфонів, яка підтримує сторонні застосування. За замовчуванням, Android програми не можуть отримати доступ до важливих призначених для користувача даних або налаштувань пристрою. Якщо застосуванню потрібні такі привілеї, розробник повинен вказати список дозволів, які вимагає застосування. Android інформує користувачів про необхідні дозволи застосуванню під час інсталяції [16].

Windows Phone. Починаючи з Windows Phone 7, користувачам пропонується надавати дозволи під час інсталяції застосувань. Розробники повинні вказати дозволи, що необхідні застосуванню. Під час інсталяції користувачеві показано список дозволів як частина процесу [17]. Застосування не можуть запросити додаткові дозволи під час виконання. Windows Phone 7 має 16 дозволів, які охоплюють апаратні засоби (наприклад, мікрофон) і персональні дані (наприклад, ідентичність телефону). Застосування Windows 8 мають дуже аналогічні обмеження: вони є в пісочниці за замовчуванням, розробникам необхідно вказати будь-які додаткові дозволи, а користувачі просять надати дозвіл [18].

Моделі загроз застосувань.

Моделювання процесу аналізу системної безпеки при використанні застосувань доцільно здійснювати відповідно до логічної послідовності, показаної на рис. 1.

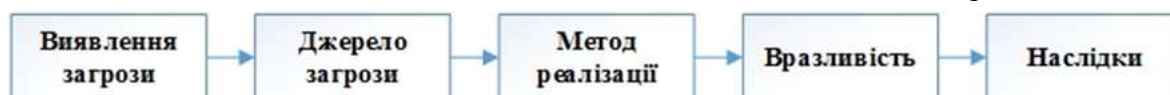


Рис. 1. Процес аналізу системної безпеки

У ході аналізу негативних наслідків загроз необхідно переконатися, що всі можливі джерела загроз ідентифіковані, всі можливі вразливості ідентифіковані та зіставлені з ідентифікованими джерелами загроз, всім ідентифікованим джерелам загроз і відповідним вразливостям зіставлені методи реалізації. При цьому важливо мати можливість, у разі необхідності, не змінюючи загальної моделі, вводити нові види джерел загроз, вразливостей та методів реалізації, які стануть відомі в результаті розвитку знань у цій га-

лузі. Необхідно також враховувати, що джерела загроз системної безпеки можуть знаходитися як усередині системи (внутрішні джерела), так і поза нею (зовнішні джерела). Такий поділ виправдано тому, що для тієї ж самої загрози (наприклад, крадіжка) методи захисту для зовнішніх та внутрішніх джерел можуть бути принципово різними.

У випадку виявлення загроз системній безпеці було використано два підходи. Перший – це аналіз вже існуючих шкідливих мобільних застосувань. Такий підхід дозволяє побачити деякі специфічні особливості застосувань з погляду безпеки. Наприклад, шкідливі програми були лідерами з використання методів обфускації, або заплутування коду [19]. Нині ця ознака вже не така актуальна, оскільки розробники популярних застосувань у процесі побудови використовують різні обфускатори залежно від операційної системи (наприклад, для операційної системи Android включають ProGuard – офіційний обфускатор від Google). Іншою виявленою особливістю є використання дозволів. На відміну від попереднього випадку, ця особливість не втратила своєї актуальності, так як навіть самі прості шкідливі додатки просять дозволу на відправку SMS.

Другий підхід до виявлення загроз базується на вхідному файлі, його розмірі, наборі статичних дозволів, кількості URL у змінних та ресурсах, викликах API.

Пріоритет системної безпеки буває двох видів, базуючись на джерелі інсталяції: високий та низький. Якщо застосування було встановлене з відкритого джерела, то пріоритет буде високий, адже саме тут можливість ураження дуже висока, на відміну від інсталяції з офіційного сайту.

Винятковими називаються загрози, у яких ланцюги викликів повністю збігаються з ланцюгом з бази знань. Такі застосування підлягають негайній деінсталяції. Хоча кінцеве рішення все одно залишається за користувачем. Відповідно, актуальними називаються загрози, які частково збігаються з загрозами з бази знань.

Метод системної безпеки ОС Андроїд. Оскільки не всі системи мають можливість запитувати користувача про привілеї застосування під час його роботи, для ОС Андроїд можна запропонувати метод системної безпеки, який базується на вбудованих моделях загроз у вигляді ланцюгів небезпечних викликів та включає такі етапи:

1. Під час виконання програми та використання певних викликів API Android Application Framework аналізується, чи необхідні цьому виклику додаткові привілеї.

2. Якщо необхідні додаткові привілеї, сканується та записується зліпок стека подальшого ланцюга викликів, що мають відношення до функцій пристрою.

3. Після збирання даних відбувається порівняння ланцюгів викликів з відомими моделями загроз у вигляді небезпечних ланцюгів. База знань потенційно небезпечних послідовностей викликів може знаходитися як локально, так і у хмарі, що допоможе зробити існуючі моделі загроз актуальними для всіх застосувань одразу.

4. Після порівняння ланцюгів викликів розраховується коефіцієнт схожості з відомими небезпечними послідовностями. Коефіцієнт схожості розраховується як відсотковий показник збігів послідовних API викликів. Тобто якщо с ланцюжка-шаблону розміром 10 API викликів 5 збігаються (не обов'язково послідовно), то коефіцієнт схожості дорівнює 50 %.

5. Користувач отримує повідомлення про найбільшу відсоткову схожість з одним із небезпечних застосувань з бази знань та інформацію про можливе неправомірне використання привілеїв. Кінцеве рішення про подальше використання залежить від користувача.

Схема описаного вище методу системної безпеки показана на рис. 2.

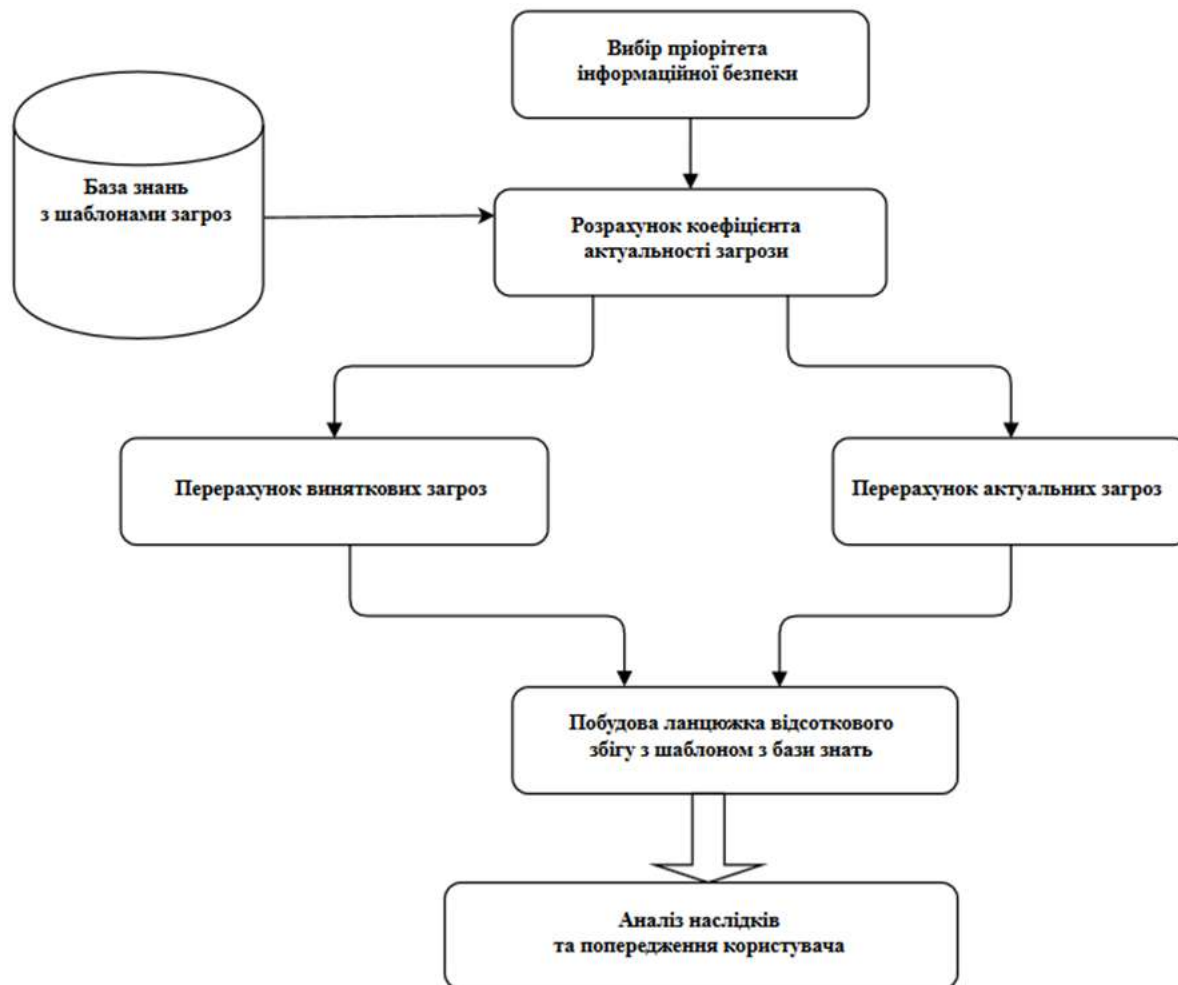


Рис. 2. Схема методу системної безпеки

Запропонований метод уможливує вдосконалення старих версій операційних систем лише за допомогою встановлення відповідного пакета, який буде слідкувати за роботою потенційно небезпечних застосувань та повідомляти користувача у разі підвищення загрози.

Висновки. Якщо не змінити статичний підхід системи дозволів, то користувач залишається відкритим до зовнішніх та внутрішніх атак. Вирішенням проблеми може бути часткове перенесення рішення про рівень шкідливості застосування на віддалений сервер та давати користувачу прийняти кінцеве рішення на основі результатів отриманого аналізу.

Список використаних джерел

1. Cross-Origin XMLHttpRequest [Electronic resource]. – Access mode: <http://code.google.com/chrome/extensions/xhr.html>.
2. Content Security Policy (CSP) [Electronic resource]. – Access mode: <http://code.google.com/chrome/extensions/trunk/contentSecurityPolicy.html>.
3. Cross-Platform Application Development on Symbian [Electronic resource]. – Access mode: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14566/Thesis_John_Mathew.pdf.
4. Intents and Intent Filters [Electronic resource]. – Access mode: <http://developer.android.com/guide/components/intents-filters.html>.
5. Manifest.permission [Electronic resource]. – Access mode: <http://developer.android.com/reference-/android/Manifest.permission.html>.
6. Npapi plugins [Electronic resource]. – Access mode: <http://code.google.com/chrome/extensions/npapi.html>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Permissions reference [Electronic resource]. – Access mode: <https://developers.facebook.com/docs/authentication/permissions/>.
8. SELinux Project Wiki [Electronic resource]. – Access mode: http://selinuxproject.org/page/Main_Page.
9. Fundamentals of Symbian OS [Electronic resource]. – Access mode: <http://neo.dmcs.pl/symos/wyklady/01a-Introduction.pdf>.
10. Tabs [Electronic resource]. – Access mode: <http://code.google.com/chrome/extensions/tabs.html>.
11. The Add-on Review Process and You [Electronic resource]. – Access mode: <http://blog.mozilla.com/addons/2010/02/15/the-add-on-review-process-and-you>.
12. Введение в API-интерфейсы Facebook [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/x-androidfacebookapi/>.
13. Analysis and Comparison with Android and iPhone Operating System [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.eecs.ucf.edu/~dcm/Teaching/COP5611Spring2010/Project/AmberChang-Project.pdf>.
14. Trusted computer system evaluation criteria (orange book) [Text] // Department of Defense, Tech. Rep. DOD 5200.28-STD, December 1985. – P. 23–31.
15. Device APIs Requirements: W3C Working Group Note 15 October 2009 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.w3.org/TR/2009/NOTE-dap-api-reqs-20091015/>.
16. How Consumers Interact with Mobile App Advertising [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.pontiflex.com/download/harrisinteractive.Pdf>.
17. US Smartphone Owners by Age [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.comscore.com/2011/06/us-smartphone-owners-by-age>.
18. *Ackerman, M.* Privacy in e-commerce: examining user scenarios and privacy preferences [Text] / M. Ackerman, L. Cranor, J. Reagle // in Proceedings of the ACM Conference on Electronic Commerce. - 1999. – P. 72–86.
19. Obfuscation of Abstract Data-Types [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.cs.ox.ac.uk/stephen.drape/papers/thesis.pdf>.

References

1. Cross-Platform Application Development on Symbian (2016). Retrieved from http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14566/Thesis_John_Mathew.pdf.
2. Content Security Policy (CSP) (2016). Retrieved from <http://code.google.com/chrome/extensions/trunk/-contentSecurityPolicy.html>.
3. Cross-Origin XMLHttpRequest (2016). Retrieved from <http://code.google.com/chrome/extensions/xhr.html>.
4. Intents and Intent Filters (2016). Retrieved from <http://developer.android.com/guide/components/intents-filters.html>.
5. Manifest.permission (2016). Retrieved from <http://developer.android.com/reference/android/Manifest.permission.html>.
6. Npapi plugins. (2016). Retrieved from <http://code.google.com/chrome/extensions/npapi.html>.
7. Permissions reference (2016). Retrieved from <https://developers.facebook.com/docs/authentication/permissions/>.
8. SELinux Project Wiki. (2016). Retrieved from http://selinuxproject.org/page/Main_Page.
9. Fundamentals of Symbian OS (2016). Retrieved from <http://neo.dmcs.pl/symos/wyklady/01aIntroduction.pdf>.
10. Tabs (2016). Retrieved from <http://code.google.com/chrome/extensions/tabs.html>.
11. The Add-on Review Process and You (2016). Retrieved from <http://blog.mozilla.com/addons/2010/02/15/the-add-on-review-process-and-you>.
12. Vvedenie v API-interfejsy Facebook [Introduction to the Facebook API interfaces] (2016). Retrieved from <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/x-androidfacebookapi/>.
13. Analysis and Comparison with Android and iPhone Operating System (2016). Retrieved from <http://www.eecs.ucf.edu/~dcm/Teaching/COP5611Spring2010/Project/AmberChang-Project.pdf>.
14. Trusted computer system evaluation criteria (orange book) (1985) Department of Defense, Tech. Rep. DOD 5200.28-STD, December, pp. 23–31.

15. Device APIs Requirements: W3C Working Group Note 15 October 2009 (2016). Retrieved from <http://www.w3.org/TR/2009/NOTE-dap-api-reqs-20091015/>.
16. How Consumers Interact with Mobile App Advertising (2016). Retrieved from <http://www.pontiflex.com/download/harrisinteractive.Pdf>.
17. US Smartphone Owners by Age (2016). Retrieved from <http://www.comscoredatamine.com/2011/06/us-smartphone-owners-by-age>.
18. Ackerman, M., Cranor, L., Reagle, J. (1999). Privacy in e-commerce: examining user scenarios and privacy preferences, in Proceedings of the ACM Conference on Electronic Commerce, pp. 72-86.
19. Obfuscation of Abstract Data-Types (2016). Retrieved from <http://www.cs.ox.ac.uk/stephen.drape/papers/thesis.pdf>.

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

Карпачев Ігор Ігорович – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем. Чернігівський Національний Технологічний Університет. (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14000, Україна).

Карпачев Игорь Игоревич – аспирант кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14000, Украина).

Karpachev Igor – PhD student of Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv National Technological University (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: benchakalaka@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1910-3264>

ResearcherID: R-3626-2016

Инна Стеценко, Катерина Лещенко

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ КОМПОНЕНТ ВІЗУАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Инна Стеценко, Екатерина Лещенко

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Inna Stetsenko, Kateryna Leshchenko

STOCHASTIC PETRI NETS VISUAL PROGRAMMING INTELLECTUAL COMPONENT

З розвитком інформаційних технологій зростає потреба в імітаційному моделюванні складних систем для відшукування оптимальних параметрів управління ними. У зв'язку з цим відбувається зростання вимог до засобів моделювання, зокрема постає задача забезпечення високої швидкості побудови та модифікації імітаційних моделей. Вирішувати цю задачу пропонується за допомогою технології Петрі-об'єктного моделювання, яка ґрунтується на формалізованому описі динаміки системи мережею Петрі.

Роботу присвячено розробленню інтелектуального компонента візуального програмування стохастичних мереж Петрі програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання дискретно-подійних систем. Створено механізм збереження моделей, побудованих за допомогою маніпулювання графічними об'єктами, у вигляді програмного коду мовою Java, а також відновлення візуальних моделей з програмного коду з автоматичним розташуванням елементів в мережі Петрі так, щоб максимізувати легкість сприйняття моделей та швидкість їх побудови.

Ключові слова: візуальне програмування, дискретно-подійна система, стохастична мережа Петрі, імітаційне моделювання, Петрі-об'єктна модель.

Рис.: 3. Бібл.: 8.

С развитием информационных технологий возрастает потребность в имитационном моделировании сложных систем для нахождения оптимальных параметров управления ими. В связи с этим возрастают требования к средствам моделирования, в том числе возникает задача обеспечения высокой скорости построения и модификации имитационных моделей. Решать эту задачу предлагается при помощи технологии Петри-объектного моделирования, основанной на формализованном описании динамики системы сетью Петри.

Работа посвящена разработке интеллектуального компонента визуального программирования стохастических сетей Петри программного обеспечения Петри-объектного моделирования систем. Создан механизм сохранения моделей, построенных путем манипулирования графическими объектами, в виде программного кода на языке Java, а также восстановления визуальных моделей из программного кода с автоматическим размещением элементов сети Петри так, чтобы максимизировать легкость восприятия моделей и скорость их построения.

Ключевые слова: визуальное программирование, дискретно-событийная система, стохастическая сеть Петри, имитационное моделирование, Петри-объектная модель.

Рис.: 3. Библ.: 8.

The development of information technology has caused an increase in the need for simulation modeling of complex systems intended to determine the optimal management parameters. As a result, there is a tendency for the requirements for modeling tools to increase, including the emergence of the problem of providing rapid construction and modification of simulation models. The suggested way to solve this problem is to use the Petri-object modeling technology which is based on the formalized description of the system's dynamics by the means of Petri nets.

This work is dedicated to the development of a stochastic Petri nets visual programming intellectual component of the Petri-object modeling software. A mechanism has been created to save graphically created models in the form of program code in Java and restore visual models from the program code with automatic placement of Petri nets' elements in a way that maximizes the ease of model perception and the speed of model construction.

Key words: visual programming, discrete event system, stochastic Petri net, simulation modeling, Petri-object model.

Fig.: 3. Bibl.: 8.

Постановка проблеми. З розвитком інформаційних технологій зростає потреба в імітаційних моделях складних систем, що використовуються для відшукування оптимальних параметрів управління та прийняття рішень. Підвищення складності систем, поведінку яких необхідно моделювати, пов'язане з тенденцією до зростання кількості їх структурних елементів, а також кількості взаємозв'язків між ними. У зв'язку з цим відбувається зростання вимог до засобів моделювання, зокрема постає задача забезпечення високої швидкості побудови імітаційних моделей дискретно-подійних систем, а також представлення моделей у вигляді, що максимально полегшив би їхнє сприйняття користувачем. Крім того, набуває важливості швидкість модифікації моделей у зв'язку зі структурними та функціональними змінами. Все це призводить до актуальності роз-

робки такого програмного забезпечення, яке дозволило б імітувати поведінку складних дискретно-подійних систем, швидко будувати та модифікувати їх моделі за допомогою візуального програмування та яке б забезпечувало зручність представлення імітаційних моделей користувачу.

У багатьох наукових роботах відзначається ефективність використання формалізму мереж Петрі для опису та дослідження паралельних процесів та процесів управління. Застосування мереж Петрі для моделювання комунікаційних систем розглядається в роботі [1]. Приклади моделювання та аналізу продуктивності складних стохастичних систем мережею Петрі наведені в роботі [2]. Використання мережі Петрі для моделювання бізнес-процесів описано в роботі [3].

Побудова моделей засобами візуального програмування означає автоматичну генерацію програмного коду, що відповідає за створення моделі, на основі маніпуляцій користувача з графічними об'єктами, які представляють структурні елементи імітаційної моделі. Візуальне представлення моделі системи прискорює процес конструювання складної моделі, зменшує кількість помилок при введенні моделі, значно спрощує процес її корегування або модифікації. Проте збереження графічних образів моделей для складних систем може призвести до значних витрат ресурсів комп'ютерної пам'яті. У той же час зберігання програмного коду є в десятки разів менш витратним. Тому створення програмного компонента, який би здійснював перетворення графічного образу моделі у програмний код і навпаки, вирішує проблему досягнення компромісу між зручністю використання моделі та витратами ресурсів на її зберігання.

Аналіз існуючих засобів програмування мереж Петрі. Існує багато програмних засобів імітаційного моделювання на основі мереж Петрі. Більшість із них містить графічні редактори, деякі орієнтовані на використання специфічної мови опису мережі Петрі. В основному програмні засоби забезпечують можливість роботи з певним класом мереж Петрі – з базовими мережами, часовими мережами Петрі, стохастичними або розфарбованими. Йдеться про такі засоби, як Artifex, Cosmos, CPN Tools, ExSpect, F-net, INA, JFem, Mercury. Компонентами таких засобів є графічні редактори, аніматори руху маркерів у мережі, симулятори та, в деяких випадках, підтримка математичного аналізу структурних властивостей мережі Петрі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Основною перешкодою для широкого застосування мереж Петрі є надто велика кількість елементів для побудови моделей навіть простих систем. Як наслідок, розроблення та відлагодження таких моделей є трудомісткою задачею.

Об'єктно-орієнтована технологія має певні переваги для розбудови великих програмних систем. Тому є цілком логічною поява формалізмів, що поєднують об'єктно-орієнтовану технологію та мережі Петрі. Намагання доповнити мережу Петрі аспектами об'єктно-орієнтованого підходу відтворені у програмному засобі LOOPN [4]. Проте найбільш важливі властивості об'єктів залишились не втіленими, а саме створення екземпляру класу з заданою динамікою та успадкування динаміки об'єкта.

Технологія Петрі-об'єктного моделювання ґрунтується на концепції, що модель системи конструюється з елементів, динаміка яких задана стохастичною мережею Петрі. Об'єкти із заданою динамікою тиражуються у заданій кількості і з заданими параметрами, можуть успадковувати динаміку від інших об'єктів та створювати нові об'єкти, динаміка яких пов'язана з іншими об'єктами. Доведено, що динаміка Петрі-об'єктної моделі в цілому теж описується стохастичною мережею. Цей факт є важливим, оскільки гарантує коректність та обчислюваність моделі [5]. Ефективність та поліноміальна обчислювальна складність алгоритму імітації Петрі-об'єктної моделі доведені в роботі [6].

Використання технології Петрі-об'єктного моделювання для розробки та дослідження імітаційних моделей великих систем, таких як система управління транспортним рухом, розподілена обчислювальна система, виробнича система, система управління навчальним процесом у вищому навчальному закладі розглядається в роботі [7]. Проте практичне використання технології для широкого кола дослідників потребує розробки програмного комплексу методів і засобів, що підтримують усі етапи розроблення моделі з використанням візуальних засобів.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є вирішення задачі розроблення інтелектуального компонента візуального програмування стохастичних мереж Петрі на базі існуючого програмного засобу Петрі-об'єктного моделювання дискретно-подійних систем [8]. Цей компонент повинен підвищити швидкість побудови моделей дискретно-подійних систем у вигляді мереж Петрі і зручність їх створення та модифікації. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити компонент з такими функціональними можливостями:

- зберігання мережі Петрі, побудованої за допомогою маніпулювання графічними об'єктами (позиціями, переходами, вхідними та вихідними дугами), у вигляді програмного коду мовою Java, а саме у вигляді статичного методу спеціально призначеного для цього класу;

- відновлення візуальної моделі дискретно-подійної системи з програмного коду методу;

- автоматичне розташування елементів мережі, що забезпечує легкість сприйняття моделі користувачем (мінімізує кількість перетинів між дугами та випадків, коли будь-які елементи мережі частково перекривають один одного).

Програмне забезпечення Петрі-об'єктного моделювання. У цій роботі розглянуто стохастичні мережі Петрі з часовими затримками, багатоканальними переходами та інформаційними зв'язками. Саме з такими мережами Петрі працює програмний засіб, для якого розробляється компонент візуального програмування (далі – програмний засіб). Слід зазначити, що при рівності всіх часових затримок нулю матимемо просту мережу, що не є часовою; при детермінованих затримках (деякі з яких ненульові) матимемо детерміновану часову мережу; при рівності кількості каналів кожного переходу одиниці матимемо мережу без багатоканальних переходів. Тобто ми розглядаємо один із найбільш узагальнених типів мереж Петрі, і програмний засіб, очевидно, дозволяє працювати з будь-якими простішими мережами.

Часові затримки являють собою затримки при переміщенні маркерів у мережі, причому вони можуть бути пов'язані як із переходами, так і з позиціями. Часові затримки в найпростішому випадку визначаються детермінованою або випадковою величиною. На сьогоднішній день розроблена теорія мереж Петрі з часовими затримками, визначеними детермінованими величинами, а теорія мереж Петрі з часовими затримками, визначеними випадковими величинами, знаходиться у процесі розробки [5]. Останні є стохастичними мережами Петрі, що й розглядаються у цій роботі.

Інформаційні зв'язки між переходом і позицією дозволяють моделювати такі події, які відбуваються за певної умови та під час здійснення яких умова не зникає. Наприклад, подія «Приймає заборгованості» об'єкта Викладач здійснюється за умови наявності заборгованостей з дисциплін викладача, що відповідає наявності принаймні одного маркера в позиції «Кількість заборгованостей з дисциплін, які веде викладач» (рис. 1). Подія «Приймає заборгованості» об'єкта Викладач ініціює подію «Здає екзамен» об'єктів Студент, які мають заборгованості, і тільки за результатом задачі екзамену Студентом здійснюється зменшення кількості заборгованостей. Якщо використати в цьому випадку звичайний зв'язок, то ще до здійснення події «Здає екзамен» хоч одного об'єкта Студент кількість заборгованостей буде зменшена на одиницю об'єктом Викладач [7].

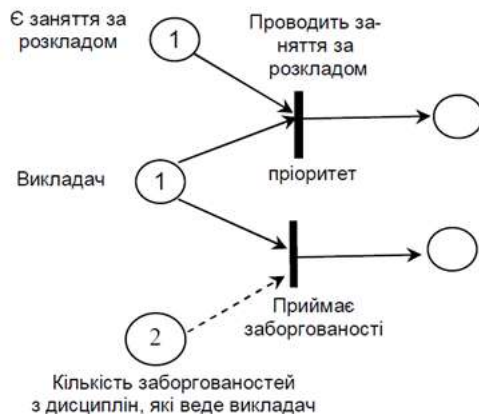


Рис. 1. Формалізація події «Приймає заборгованості» мережею Петрі

Мережі Петрі з багатоканальними переходами – це такі мережі, які допускають повторні запуски активних переходів, причому обмеження на кількість каналів можуть задаватися за допомогою маркування спеціальних позицій або вказуватися явно [7].

Компонент візуального програмування стохастичних мереж Петрі було розроблено на базі графічного модуля програмного засобу [8], що дозволяє будувати стохастичні мережі Петрі з багатоканальними переходами та інформаційними зв'язками шляхом маніпуляцій з графічними об'єктами (позиціями, переходами, вхідними та вихідними дугами), а також зберігати, відкривати, модифікувати збережені моделі, моделювати поведінку відповідних систем у часі, збирати статистичні дані щодо їхнього функціонування. Цей програмний засіб створено засобами мови програмування Java та інтегрованого середовища розробки Netbeans IDE.

До початку роботи над новим компонентом програмний засіб складався з п'яти пакетів:

1. PetriObj (плагін, що забезпечує користувача основними класами для реалізації Петрі-об'єктних моделей; це, наприклад, класи, які відповідають вхідним чи вихідним дугам мережі, позиціям, переходам, цілим мережам Петрі).

2. graphnet (бібліотека класів, яка розв'язує задачу надання графічним об'єктам, що є елементами мережі Петрі, функціональності, пов'язаної з їхнім існуванням у спільному візуальному просторі; містить класи, що відповідають графічним аналогам дуг, позицій, переходів тощо).

3. graphpresentation (бібліотека класів, що розв'язує задачу програмної розробки графічних об'єктів мережі Петрі та їх спільного взаємопов'язаного існування у візуальному просторі; ця бібліотека, зокрема, містить JFrame форми та клас для роботи з файлами під назвою FileUse, який дозволяє зберігати побудовані імітаційні моделі у форматі .pns та відкривати створені файли для продовження роботи з існуючими моделями).

4. graphreuse (бібліотека, що містить форму та інші класи, які забезпечують зручне редагування всіх параметрів мережі за допомогою декількох інтерактивних таблиць).

5. libnet (бібліотека для збереження методів побудови конкретних мереж Петрі).

Проектування та розробка інтелектуального компонента візуального програмування мереж Петрі. Проектування інтелектуального компонента візуального програмування мереж Петрі було розпочато з розділення його функціональності на дві частини: збереження мережі Петрі у вигляді методу в бібліотеці libnet та відновлення візуальної моделі з такого методу.

Для реалізації першої частини було додано два нових методи до описаного вище класу FileUse: saveNetAsMethod (генерація коду методу, що створює та повертає об'єкт типу PetriNet, який відповідає мережі Петрі у візуальному просторі програми, і виве-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

дення згенерованого коду на спеціальну панель) та `saveMethodInNetLibrary` (збереження коду з панелі у бібліотеці `libnet`). Крім того, було модифіковано клас `PetriNetsFrame` (створено елементи меню, що відповідають цим новим методам, і прив'язано обробку події їх натискання).

Для реалізації другої частини було проведено аналогічні зміни у класі `PetriNetsFrame` і додано нові методи до класу `FileUse`: `openMethod` (відновлення візуальної моделі системи з програмного коду обраного методу за допомогою регулярних виразів та виведення візуальної моделі у графічний простір), `convertMethodToPetriNet` (аналіз коду методу та генерація на його основі об'єкта класу `PetriNet`), `generateGraphNetBySimpleNet` (генерація об'єкта класу `GraphPetriNet` графічного аналогу мережі Петрі на базі об'єкта `PetriNet` із автоматичним розміщенням елементів мережі таким чином, щоб мінімізувати кількість перетинів між дугами та випадків, коли будь-які елементи мережі частково перекривають один одного). Крім того, було створено клас `MethodNameDialogPanel` – діалогову панель вибору методу для відкриття зі списку існуючих методів у бібліотеці `libnet`. Для реалізації методу `generateGraphNetBySimpleNet` було створено ще один новий клас – клас `VerticalSet`. Він є абстракцією, що використовується в алгоритмі візуалізації мережі, та являє собою набір елементів (позицій або переходів), які буде розміщено одним стовпцем, тобто один над одним. Кожен такий вертикальний набір може містити або лише позиції, або лише переходи.

Алгоритм, розроблений для візуалізації мережі Петрі у графічному просторі, полягає в наступному:

1. Побудувати список вертикальних наборів позицій та переходів:

1.1. Вилучити будь-який перехід зі списку наявних переходів та помістити його в перший вертикальний набір (тип набору: для переходів).

1.2. Доки є елементи в списку наявних позицій або в списку наявних переходів, повторювати:

1.2.1. Обнулити посилання на останній вертикальний набір та його індекс у списку вертикальних наборів.

1.2.2. Для кожного вертикального набору виконати:

1.2.2.1. Якщо він ще не позначений як «готовий», встановити на нього посилання на останній вертикальний набір, прирівняти індекс останнього набору до його позиції у списку вертикальних наборів (тобто вважати його останнім), вийти з циклу.

1.2.3. Якщо посилання на останній вертикальний набір порожнє, припинити роботу.

1.2.4. Якщо тип останнього набору – для позицій, виконати:

1.2.4.1. Побудувати список всіх переходів, що є вхідними до позицій останнього набору і є в списку наявних переходів.

1.2.4.2. Побудувати список всіх переходів, що є вихідними до позицій останнього набору, є в списку наявних переходів і не входять у список, побудований у п. 1.2.4.1.

1.2.4.3. Якщо список вхідних переходів не порожній та індекс останнього набору дорівнює нулю, додати на початок списку наборів новий порожній набір типу «для переходів», а також прирівняти індекс останнього вертикального набору до 1.

1.2.4.4. Якщо список вихідних переходів не порожній та індекс останнього набору на 1 менший за розмір списку наборів, додати в кінець списку наборів новий порожній набір типу «для переходів».

1.2.4.5. Для всіх вхідних переходів виконати:

1.2.4.5.1. Додати цей перехід до вертикального набору, що (за індексом) знаходиться перед останнім (на який збережено посилання, а не фізично останнім).

1.2.4.5.2. Позначити набір, до якого додали перехід, як «не готовий».

1.2.4.5.3. Вилучити перехід зі списку наявних переходів.

1.2.4.6. Для всіх вихідних переходів виконати:

1.2.4.6.1. Додати цей перехід до вертикального набору, що (за індексом) знаходиться після останнього.

1.2.4.6.2. Позначити набір, до якого додали перехід, як “не готовий”.

1.2.4.6.3. Вилучити перехід зі списку наявних переходів.

1.2.5. Інакше виконати те ж саме, що у п. 1.2.4, тільки замінивши «переходи» на «позиції», а «позиції» на «переходи».

1.2.6. Позначити останній вертикальний набір як «готовий».

2. На основі побудованого списку згенерувати об'єкт класу GraphPetriNet:

2.1. Обнулити координати x та y .

2.2. Для кожного вертикального набору (починаючи з фізично першого у списку) виконати:

2.2.1. Збільшити x на 80 (пікселів).

2.2.2. Присвоїти значення y (якщо у вертикальному наборі парна кількість елементів, то $y = -$ половина даної кількості, помножена на 80, - 40; інакше $y = -$ половина даної кількості, помножена на 80, - 80).

2.2.3. Для кожного елементу вертикального набору виконати:

2.2.3.1. Збільшити y на 80.

2.2.3.2. Якщо тип набору – для позицій, виконати:

2.2.3.2.1. Створити на основі цієї позиції об'єкт класу GraphPetriPlace (графічний аналог позиції) з центром в точці (x, y) .

2.2.3.2.2. Додати цей об'єкт до списку графічних аналогів позицій.

2.2.3.3. Інакше виконати:

2.2.3.3.1. Створити на основі такого переходу об'єкт класу GraphPetriTransition (графічний аналог переходу) з центром в точці (x, y) .

2.2.3.3.2. Додати цей об'єкт до списку графічних аналогів переходів.

2.3. З'єднати графічні аналоги позицій та переходів вхідними та вихідними дугами.

2.4. Створити об'єкт класу GraphPetriNet, передавши у конструктор побудовані списки графічних аналогів позицій, переходів і дуг.

2.5. Перемістити даний об'єкт до центру видимої області візуального простору.

2.6. Повернути об'єкт з методу.

Фрагмент коду, який формує списки графічних аналогів позицій та переходів (п. 2.2), наступний:

```
for (VerticalSet set : sets) {
    ArrayList<PetriMainElement> elements = set.GetElements();
    int size = elements.size();
    x += 80;
    y = ((size % 2) == 0) ? (- (size / 2 * 80) - 40) : (- (size / 2 * 80) - 80);
    for (PetriMainElement elem : elements) {
        y += 80;
        if (set.IsForPlaces()) {
            PetriP place = (PetriP)elem;
            GraphPetriPlace grPlace = new GraphPetriPlace(place);
            grPlace.setNewCoordinates(new Point2D.Double(x, y));
            grPlaces.add(grPlace);
        } else {
            PetriT tran = (PetriT)elem;
            GraphPetriTransition grTran = new GraphPetriTransition(tran);
            grTran.setNewCoordinates(new Point2D.Double(x, y));
            grTransitions.add(grTran);
        }
    }
}
```

Загалом для реалізації нового компонента було модифіковано два існуючих класи бібліотеки graphpresentation (PetriNetsFrame і FileUse) та створено два нових класи (VerticalSet і MethodNameDialogPanel).

Результат генерування методу на основі візуальної моделі, побудованої за допомогою графічного інтерфейсу, показано на рис. 2.

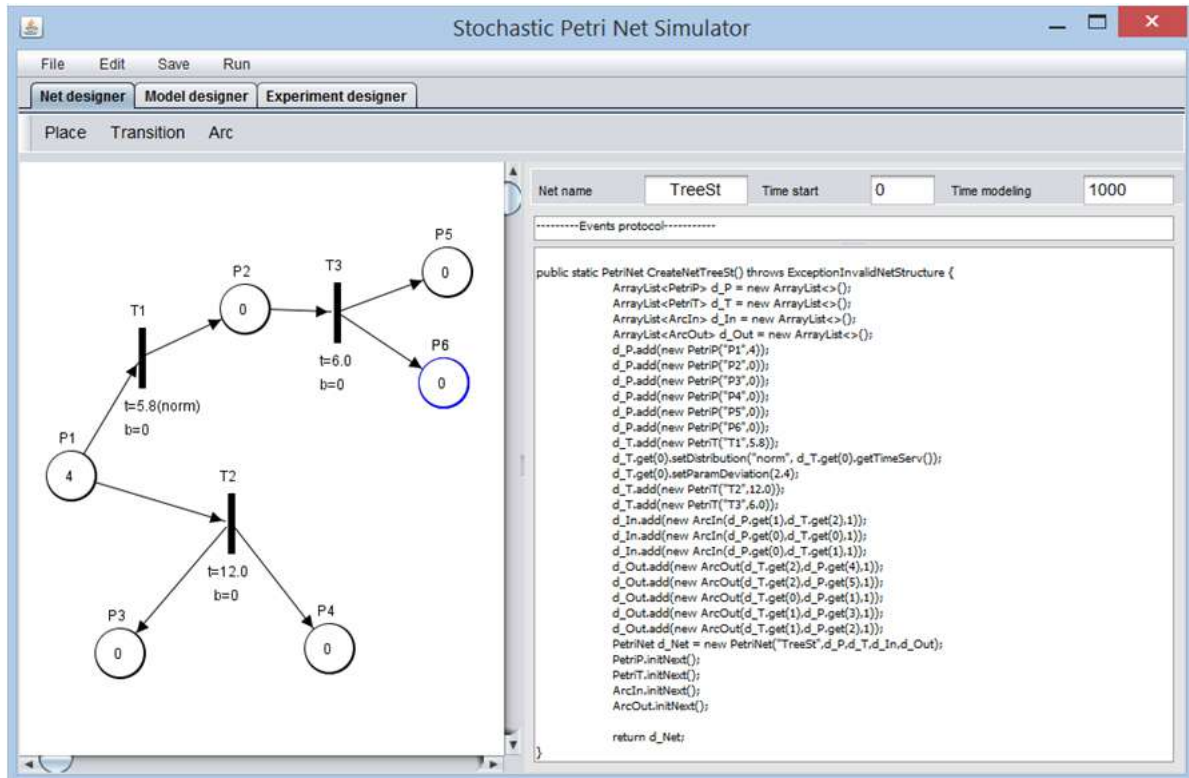


Рис. 2. Метод, згенерований на основі візуальної моделі

Результат відновлення візуальної моделі з методу демонструє рис. 3.

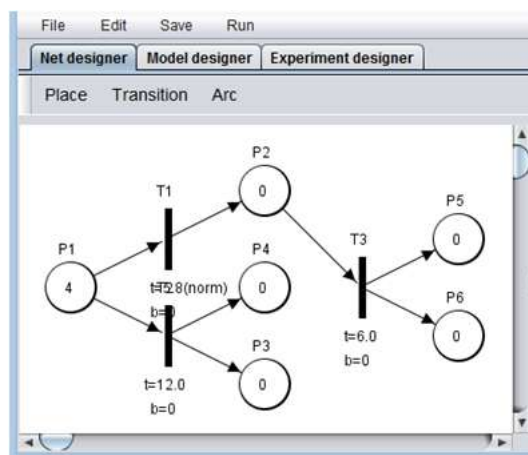


Рис. 3. Візуальна модель системи, згенерована на основі Java методу

Висновки і пропозиції. У результаті наукового дослідження розроблено інтелектуальний компонент візуального програмування стохастичних мереж Петрі, що являє собою вдосконалену версію однієї з бібліотек Java-класів програмного засобу Петрі-об'єктного моделювання дискретно-подійних систем. Цей компонент призначений для збереження моделей, побудованих за допомогою маніпулювання графічними об'єктами, у вигляді програмного коду мовою Java, а також відновлення візуальних моделей з програмного коду.

Розроблений компонент підвищує легкість сприйняття моделі користувачем за рахунок автоматичного розташування елементів мережі Петрі, що відновлюється з програмного коду, таким чином, щоб мінімізувати кількість перетинів між дугами та випадків, коли будь-які елементи мережі частково перекривають один одного. Крім того, компонент забезпечує вищу швидкість побудови та модифікації імітаційних моделей дискретно-подійних систем.

Інтелектуальний компонент планується використовувати під час розроблення іншого компонента програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання, який дозволить би створювати візуальними засобами моделі систем вищого рівня та імітувати їхнє функціонування. Під моделями систем вищого рівня маються на увазі такі моделі, що складаються із великої кількості мереж Петрі. Також розроблений компонент може безпосередньо слугувати для швидкої побудови і модифікації простих стохастичних мереж Петрі, а також їхнього тиражування. Зручність у використанні компонента та відсутність необхідності знати мову Java роблять можливою роботу з імітаційними моделями користувачів, які не розуміються на розробці програмного забезпечення, а володіють лише базовими знаннями в галузі моделювання за допомогою мереж Петрі.

Список використаних джерел

1. Zaitsev, D. A. Clans of Petri Nets: Verification of protocols and performance evaluation of networks / D. A. Zaitsev. – LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 292 p.
2. Haas, P. J. Stochastic Petri Nets: Modelling, Stability, Simulation / P. J. Haas. – Springer Science & Business Media, 2006. – 510 p.
3. Aalst, W. Modeling Business Process – A Petri Net-Oriented Approach / W. Aalst, C. Stahl // The MIT Press. – 2011. – 400 p.
4. Lakos, C. Object Oriented Modeling with Object Petri Nets / C. Lakos // Concurrent Object-Oriented Programming and Petri Nets. – 2001. – P. 1-37.
5. Стеценко І. В. Теоретические основы Петри-объектного моделирования систем / И. В. Стеценко // Математичні машини і системи. – 2011. – № 4. – С. 136–148.
6. Stetsenko, I. V. Petri-Object Simulation: Software Package and Complexity / I. Stetsenko, V. Dorosh, A. Dyfuchyn // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015). – Warsaw (Poland), 2015. – P. 381–385.
7. Стеценко І. В. Об'єктно-орієнтоване моделювання систем з використанням мереж Петрі / І. В. Стеценко // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 2. – С. 3–9.
8. Стеценко І. В. Проектування графічного модуля програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання систем / І. В. Стеценко, О. В. Василевська // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 2. – С. 13–18.

References

1. Zaitsev, D.A. (2013). *Clans of Petri Nets: Verification of protocols and performance evaluation of networks*. LAP LAMBERT Academic Publishing.
2. Haas, P.J. (2006). *Stochastic Petri Nets: Modelling, Stability, Simulation*. Springer Science & Business Media.
3. Aalst, W., Stahl, C. (2011). *Modeling Business Process – A Petri Net-Oriented Approach*. The MIT Press.
4. Lakos, C. (2001). Object Oriented Modeling with Object Petri Nets. *Concurrent Object-Oriented Programming and Petri Nets*, pp. 1–37.
5. Stetsenko, I.V. (2011). Teoreticheskie osnovy Petri-obektnogo modelirovaniia system [Theoretical foundations of the Petri-object simulation modeling]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, no. 4, pp. 136–148 (in Russian).
6. Stetsenko, I., Dorosh, V., Dyfuchyn, A. (2015). Petri-Object Simulation: Software Package and Complexity. *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015)*. Warsaw (Poland), pp. 381–385.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Stetsenko, I.V. (2011). Obiektno-orientovane modeliuвання system z vykorystanniam merezh Petri [Object-oriented simulation modeling with the use of Petri nets]. *Visnyk ChDTU – Herald of Cherkassy state technological university*, no. 2, pp. 3–9 (in Ukrainian).

8. Stetsenko, I.V., Vasylevska, O.V. (2013). Proektuvannia hrafichnoho modulia prohramnoho zabezpechennia Petri-obiektnoho modeliuвання system [Graphic design of software module of Petri-object simulation systems]. *Visnyk ChDTU – Herald of Cherkassy state technological university*, no. 2, pp. 13-18 (in Ukrainian).

Стеценко Інна Вячеславівна – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України “КПІ ім. Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Стеценко Інна Вячеславівна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, Национальный технический университет Украины “КПИ им. Игоря Сикорского” (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Stetsenko Inna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Computer-Aided Management and Data Processing Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky KPI” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: stiv.inna@gmail.com

Scopus Author ID: 55368781500

Лещенко Катерина Сергіївна – студентка, Національний технічний університет України “КПІ ім. Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Лещенко Екатерина Сергеевна – студентка, Национальный технический университет Украины “КПИ им. Игоря Сикорского” (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Leshchenko Kateryna – student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky KPI” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: katrean@inbox.ru

УДК 004.9

*Юрій Зубань, Тетяна Лаврик, Сергій Іванець***ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБЛЕННЯ ДИСТАНЦІЙНИХ КУРСІВ
НА ОСНОВІ ПРОЕКТНОГО ПІДХОДУ***Юрий Зубань, Татьяна Лаврик, Сергей Иванец***ИНТЕГРИРОВАННАЯ СРЕДА РАЗРАБОТКИ ДИСТАНЦИОННЫХ КУРСОВ
НА ОСНОВЕ ПРОЕКТНОГО ПОДХОДА***Yuriy Zuban, Tetiana Lavryk, Sergii Ivanets***INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT FOR DISTANT COURSES
BASED ON PROJECT APPROACH**

Розглянуто комплексну модель створення дистанційних курсів, запроваджену в Сумському державному університеті у формі автоматизованого середовища розробки. Представлено основний понятійний апарат моделі й основних учасників проекту створення дистанційних курсів. Наведено опис етапів роботи над дистанційним курсом: розроблення навчальних матеріалів, методична та змістовно-наукова перевірка навчальних об'єктів, комплексна перевірка курсу. Для визначення якості навчальних матеріалів та аналізу стану розроблення дистанційних курсів запропоновано якісні та кількісні показники.

Ключові слова: дистанційне навчання, дистанційний курс, інтегроване середовище розроблення, комплексна перевірка, якість.

Рис.: 1. Табл.: 6. Бібл.: 4.

Рассмотрена комплексная модель создания дистанционных курсов, которая внедрена в Сумском государственном университете в виде автоматизированной среды разработки. Представлены основной понятийный аппарат модели и основные участники проекта создания дистанционных курсов. Представлено описание этапов работы над дистанционным курсом: разработка учебных материалов, методическая, содержательная и научная проверка учебных объектов, комплексная проверка курса. Для определения качества учебных материалов и анализа состояния разработки дистанционных курсов предложены качественные и количественные показатели.

Ключевые слова: дистанционное обучение, дистанционный курс, интегрированная среда разработки, комплексная проверка, качество.

Рис.: 1. Табл.: 6. Библ.: 4.

The given paper has considered the comprehensive model for creating distance courses implemented in Sumy State University as integrated development environment. There have been presented the basic conceptual model framework and the main project participants for creating distance courses. The paper gives the description of the steps for creating distance courses: development of teaching materials, methodological, scientific and content check of learning objects, complex verification of distance course. The qualitative and quantitative indicators have been used to determine the quality of training materials and to analyze the state of distance courses development.

Key words: distance learning, distance course, integrated development environment, complex verification, quality.

Fig.: 1. Tabl.: 6. Bibl.: 4.

Постановка проблеми. Дистанційне навчання у вищих навчальних закладах є одним зі шляхів вирішення проблеми підвищення якості сучасної освіти [1]. З огляду на це ключовим є питання якості навчально-методичних матеріалів, що забезпечують дистанційне навчання. Розроблення якісного дистанційного курсу, який має забезпечувати досягнення мети навчання, є складним завданням, що потребує комплексного підходу і залучення фахівців різних галузей [2]. Побудова такої моделі, що забезпечувала б оптимальну взаємодію всіх учасників проекту створення дистанційного курсу та її реалізація за допомогою відповідних програмно-технічних рішень, є актуальними завданнями для багатьох вітчизняних вищих навчальних закладів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наявного досвіду ВНЗ України свідчить, що найбільш поширеним є спрощений підхід до поставленого завдання, який передбачає самостійне розроблення автором матеріалів без проведення процедури перевірки їх якості. Відповідно і реалізація таких спеціалізованих програмних рішень, здатних забезпечити можливість командної роботи всіх учасників над проектом створення дистанційного курсу, наразі практично відсутня.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є опис розробленої моделі створення дистанційних курсів у Сумському державному університеті, що успішно впроваджена у формі автоматизованого середовища розробки і застосовується з 2013 року.

Загальна модель дистанційного курсу. Нині в СумДУ розроблено понад 500 дистанційних курсів, що забезпечують навчальний процес за дистанційною формою для 13 спеціальностей. Дистанційний курс (ДК) – це сукупність навчальних об'єктів, об'єднаних єдиним педагогічним сценарієм, що забезпечує досягнення результатів навчання. ДК розробляється згідно з відповідними методичними вимогами, відповідно до робочої програми навчальної дисципліни з урахуванням обсягу кредитів ЄКТС.

Навчальний об'єкт у ДК являє собою програмний продукт або ресурс, який передбачає взаємодію з ним студента і реалізує чітко визначену навчальну мету, має певну форму представлення (текстові, графічні, відео- та аудіонавчальні об'єкти тощо) та критерії оцінювання. Навчальні об'єкти залежно від типу (теоретичні матеріали, тести, інтерактивні практичні завдання, практичні завдання та ін.) призначені для опрацювання структурованого навчального матеріалу дисципліни, формування відповідних компетенцій та набуття практичних навичок і вмінь, а також контролю знань.

Розроблене на базі Ruby on Rails фреймворку програмне середовище «Salamstein Studio» [3] є модулем автоматизованої системи дистанційного навчання СумДУ «Salamstein» [4] та реалізує проектний підхід до організації процесу розроблення ДК. «Salamstein Studio» об'єднує редактор навчальних об'єктів та модуль управління проектами з розроблення ДК.

Проект у «Salamstein Studio» (далі – Проект) є сукупністю всіх завдань з розроблення навчальних об'єктів ДК, що передбачають визначену послідовність виконання етапів робіт та відповідних виконавців. Забезпечує в автоматизованому режимі моніторинг стану виконання завдань усіма учасниками Проекту.

Авторами Проекту є викладач або група викладачів, відповідальних за розроблення ДК. Рецензентом є викладач, фахівець з відповідної предметної галузі, який виконує змістовно-наукову перевірку навчальних об'єктів ДК. Експерт Проекту обирається з найбільш досвідчених викладачів по роботі в автоматизованій системі дистанційного навчання (АСДН) і виконує контроль за дотриманням Методичних вимог до навчальних об'єктів ДК. Крім цих учасників Проекту, на різних етапах розроблення ДК залучаються також Програміст, який забезпечує програмну реалізацію інтерактивних навчальних об'єктів, Модератор, який виконує комплексну структурно-функціональну перевірку навчальних матеріалів ДК, і Тьютор, який координує навчальний процес студентів за відповідним напрямом підготовки.

Етапи робіт над дистанційним курсом.

Створення ДК починається з етапу розроблення навчальних матеріалів, який передбачає планування структури курсу та її змістовне наповнення навчальними матеріалами. Автор несе відповідальність за зміст навчальних матеріалів ДК.

ДК є водночас і методичною, і програмно-технічною розробкою, що вимагає виконання при його реалізації робіт різного типу із дотриманням відповідних вимог для забезпечення надійності функціонування ДК і якості навчання студентів при його застосуванні. ДК вважається повністю розробленим лише після успішного завершення етапу перевірки навчальних матеріалів.

На першому кроці Автор здійснює попереднє планування дисципліни – створює в Проекті макет структури ДК (далі – Макет).

Відповідно до навчальних планів та робочої програми дисципліни Автор за допомогою спеціалізованого шаблону в «Salamstein Studio» планує потрібну кількість модулів, тем та навчальних об'єктів у ДК для набуття відповідних компетенцій та практичних навичок, контролю знань студентів, визначає складність кожного завдання.

Розроблений Автором Макет погоджується з випусковою кафедрою. На цьому етапі Тьютор має можливість ознайомитись з Макетом та висловити свої зауваження та пропозиції. Перевірка Експертом попереднього планування дисципліни передбачає аналіз

відповідності Макета робочій програмі та Методичним вимогам. За результатами перевірки Експерт або затверджує Макет або повертає його Автору на доопрацювання

Структура ДК створюється в автоматизованому режимі засобами «Salamstein Studio» на основі затвердженого Макета і містить різні навчальні об'єкти відповідно до навчальних планів і Методичних вимог. Одночасно зі створенням структури ДК у Проекті автоматично формується перелік завдань із реалізації кожного навчального об'єкта.

Наповнення курсу навчально-методичними матеріалами. Виконання завдань у Проекті пов'язано зі змістовним наповненням Автором навчальних об'єктів. У випадку розроблення інтерактивних практичних завдань, крім Автора, до роботи можуть залучатися Програміст і Модератор.

Етап перевірки навчальних матеріалів спрямований на визначення рівня їх відповідності сучасному стану розвитку предметної галузі, робочій програмі дисципліни та Методичним вимогам. Перевірка кожного розробленого навчального об'єкта ініціюється Автором і включає змістовно-наукову та методичну перевірку.

Змістовно-наукова перевірка навчального об'єкта передбачає аналіз його змістовного наповнення на відповідність робочій програмі, сучасному рівню розвитку предметної галузі і здійснюється Рецензентом. За результатами перевірки Рецензент або повертає матеріал із зауваженнями на доопрацювання Автора, або направляє його на подальшу методичну перевірку.

Методична перевірка передбачає дидактичну оцінку якості електронних навчальних матеріалів та їх відповідність Методичним вимогам. Методичну перевірку здійснює Експерт. За результатами перевірки Експерт або відхиляє матеріал із зауваженнями Рецензенту, або позначає навчальний об'єкт як такий, що успішно пройшов перевірку на факультетському рівні.

Комплексна перевірка дистанційного курсу. Для визначення цілісності ДК, узгодженості всіх розроблених навчальних об'єктів за запитом кафедри ініціюється комплексна перевірка ДК. Процес комплексної перевірки ДК розпочинається лише після успішної змістовно-наукової та методичної перевірки всіх навчальних об'єктів у Проекті.

Структурно-функціональну перевірку здійснює Модератор, який у разі невідповідності матеріалів Методичним вимогам відхиляє матеріал із зауваженнями Експерту. В іншому випадку – позначає навчальний об'єкт як такий, що успішно пройшов перевірку.

При комплексній перевірці матеріалів ДК до роботи залучається Тьютор, який ознайомлюється з навчальними матеріалами та висловлює думку випускової кафедри щодо можливості застосування матеріалів ДК у навчальному процесі.

Перевірка ДК вважається успішною, якщо робота над всіма навчальними об'єктами остаточно завершена з урахуванням зауважень і рекомендацій Модератора та Тьютора.

Управління Проектом. Засоби «Salamstein Studio» у частині управління Проектом забезпечують:

- управління виконанням комплексу робіт з планування, розроблення та перевірки навчальних об'єктів;
- можливість моніторингу стану виконання завдань;
- комунікацію між усіма учасниками.

Workflow розроблення одного навчального об'єкта у Проекті створення ДК наведено на рисунку нижче у формі графа.

Кожне розпочате завдання в Studio має відповідального виконавця та статус, що фіксує стан його виконання.

На різних етапах розроблення навчального об'єкта статус завдання та його відповідальний виконавець змінюються автоматично засобами АСДН після виконання кожного виду робіт (табл. 1).

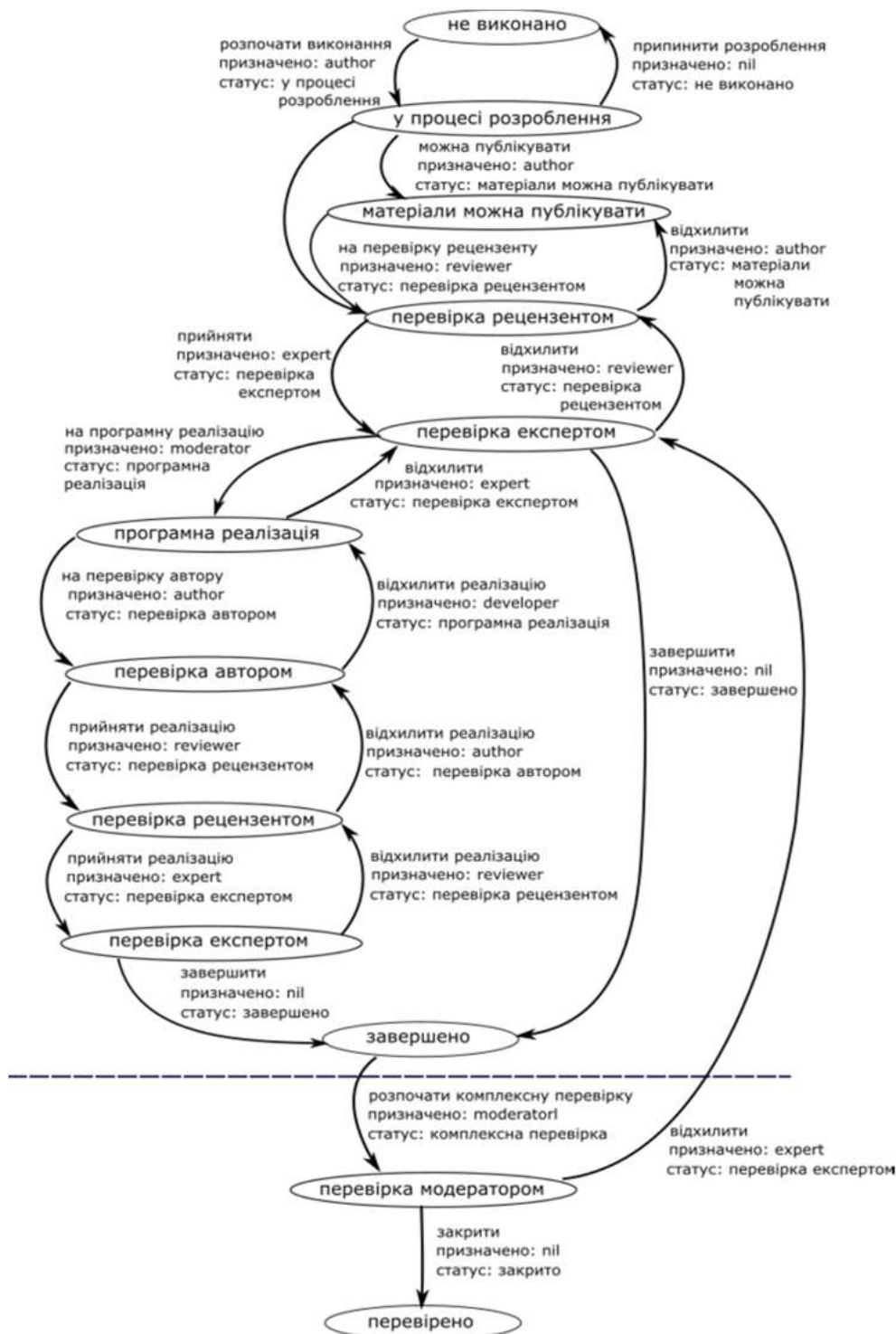


Рис. Workflow розроблення та перевірки навчального об'єкта в дистанційному курсі

Таблиця 1

Статуси завдань залежно від етапу створення ДК

Етапи створення ДК	Статус завдання	Виконавець
Етап розроблення	«не розпочато»	
	«у процесі розроблення»	Автор
	«матеріали можна публікувати»	Автор
Етап перевірки	«перевірка рецензентом»	Рецензент
	«перевірка експертом»	Експерт
	«завершено»	

У випадку відсутності зауважень з боку учасників Проекту статус завдання змінюється послідовно від «не розпочато» до «завершено». За необхідності доопрацювання статус завдання може неодноразово повертатися на попередню стадію.

При розробленні інтерактивних практичних завдань до роботи, як правило, залучаються Модератор та Програміст. Робота над цими об'єктами фактично проходить у два етапи: розроблення сценарію та створення на його основі програмного продукту (табл. 2).

Таблиця 2

Статуси інтерактивних практичних завдань залежно від етапу створення ДК

Інтерактивне практичне завдання	Статус завдання	Виконавець
Сценарій	«не розпочато»	
	«у процесі розроблення»	Автор
	«перевірка рецензентом»	Рецензент
	«перевірка модератором»	Модератор
Програмний продукт	«програмна реалізація»	Програміст
	«перевірка автором»	Автор
	«перевірка рецензентом»	Рецензент
	«перевірка експертом»	Експерт
	«завершено»	

Для управління Проектом і його аналізу застосовуються нижчезазначені кількісні характеристики.

Стан виконання завдання (S) визначається у відсотках і залежить від статусу завдання та виду навчального об'єкта. У табл. 3 наведена інформація для об'єктів, що створюються Автором самостійно, в табл. 4 – для об'єктів, реалізація яких передбачає залучення Програміста.

Таблиця 3

Статуси завдань, що створюються Автором

Етапи створення ДК	Статус завдання	Стан виконання (s), %
Етап розроблення	«не розпочато»	0
	«у процесі розроблення»	30
	«матеріали можна публікувати»	50
Етап перевірки	«перевірка рецензентом»	80
	«перевірка експертом»	90
	«завершено»	100

Таблиця 4

Статуси завдань, які передбачають залучення Програміста

Інтерактивне практичне завдання	Статус завдання	Стан виконання (s), %
Сценарій	«не розпочато»	0
	«у процесі розроблення»	10
	«перевірка рецензентом»	30
	«перевірка модератором»	40
Програмний продукт	«програмна реалізація»	60
	«перевірка автором»	70
	«перевірка рецензентом»	80
	«перевірка експертом»	90
	«завершено»	100

Стан виконання Проекту (S) визначається станами виконання всіх його завдань і виражається формулою

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i,$$

де N – кількість всіх завдань Проекту; S_i – стан виконання i -го завдання.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Для сукупності матеріалів ДК, що застосовуються у навчальному процесі, визначається рівень їх відповідності Методичним вимогам у формі коефіцієнта якості ДК (К):

$$K = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M k_i,$$

де M – кількість навчальних об'єктів, до яких наданий доступ студентам; k_i – коефіцієнт якості i -го навчального об'єкта (табл. 5, 6). Значення коефіцієнта якості k_i залежить від статусу завдання та виду навчального об'єкта.

Таблиця 5

Коефіцієнти якості завдань

Статус завдання	Коефіцієнт якості (k)
«не розпочато»	0
«у процесі розроблення»	0
«матеріали можна публікувати»	0,3
«перевірка рецензентом»	0,3
«перевірка експертом»	0,5
«завершено»	0,8

Таблиця 6

Коефіцієнти якості навчальних об'єктів

Інтерактивне практичне завдання	Статус завдання	Коефіцієнт якості (k)
Сценарій	«не розпочато»	0
	«у процесі розроблення»	0
	«перевірка рецензентом»	0
	«перевірка модератором»	0
Програмний продукт	«програмна реалізація»	0
	«перевірка автором»	0,3
	«перевірка рецензентом»	0,3
	«перевірка експертом»	0,5
	«завершено»	0,8

Коефіцієнт якості ДК (К) є параметром, що може бути використаний в алгоритмах мотивації викладачів на різних етапах дистанційного навчання, зокрема при супроводженні дистанційних курсів.

Висновки і пропозиції. Розроблене інтегроване середовище створення дистанційних курсів дозволяє реалізувати комплексний підхід у межах запропонованої моделі з метою отримання якісного навчального контенту і забезпечує:

- автоматизоване управління процесами на всіх етапах робіт, від розроблення дистанційних курсів до їх комплексної перевірки;
- взаємодію всіх залучених учасників;
- можливість постійного моніторингу стану виконання робіт щодо розроблення дистанційних курсів.

Список використаних джерел

1. *Застосування* електронного навчання для підготовки й підвищення кваліфікації фахівців ІТ-галузі у вищих навчальних закладах : монографія / А. В. Васильєв, Ю. О. Зубань, Ю. М. Коровайченко, С. М. Шкарлет. – Суми : СумДУ, 2013. – 138 с.
2. *Інформаційне, методичне та організаційне забезпечення* дистанційного навчання у вищих навчальних закладах України: монографія / М. П. Мазур, Ю. О. Зубань, В. О. Любчак, С. А. Іванець. – Суми : СумДУ, 2013. – 152 с.
3. *Зубань Ю. О.* Комп'ютерна програма «Платформа дистанційного навчання “Salamstein”» / Ю. О. Зубань, М. М. Луговий, Б. О. Кузіков // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір – №.54241. – Державна служба інтелектуальної власності України, 2014. – Заявл. 24.03.2014; опубл. 05.05.2014.

4. *Зубань Ю. О.* Комп'ютерна програма «“Salamstein Studio” – модуль розробки матеріалів навчальних дисциплін платформи дистанційного навчання “Salamstein”» / Ю. О. Зубань, М. М. Луговий / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір – No.54237. – Державна служба інтелектуальної власності України, 2014. – Заявл. 24.03.2014; опубл. 05.05.2014.

References

1. Vasyliyev, A.V., Zuban, Yu.O., Korovaichenko, Yu.M., Shkarlet, S.M. (2013). *Zastosuvannia elektronnoho navchannia dlia pidhotovky u pidvyshchennia kvalifikatsii fakhivtsiv IT-haluzi u vyshchikh navchalnykh zakladakh [Application of e-learning for training and qualification improvement of specialists of IT industry at higher educational institutions.]*. Sumy: SumDU (in Ukrainian).

2. Mazur, M.P., Zuban, Yu.O., Liubchak, V.O., Ivanets, S.A. (2013). *Informatsiine, metodychne ta orhanizatsiine zabezpechennia dystantsiinoho navchannia u vyshchikh navchalnykh zakladakh Ukrainy [Informational, methodical and organizational support of distance learning at higher educational institutions of Ukraine.]*. Sumy: SumDU (in Ukrainian).

3. Zuban, Yu.O., Luhovyi, M.M., Kuzikov, B.O. (2014). Svidotstvo na reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №54241. *Kompiuterna prohrama: Platforma dystantsiinoho navchannia “Salamstein” [Certificate on registration of copyright on work № 54241 the Computer program “An e-learning platform “Salamstein””]*. It is declared: 23.04.2014; it is published: 05.05.2014.

4. Zuban, Yu.O., Luhovyi, M.M. (2014). Svidotstvo na reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №54237. *Kompiuterna prohrama «“Salamstein Studio”– modul rozrobky materialiv navchalnykh dystsyplin platformy dystantsiinoho navchannia “Salamstein” [Certificate on registration of copyright on work №54237 the Computer program ““Salamstein Studio” – the module of development of materials for academic disciplines distance learning platform “Salamstein””]*. It is declared: 23.04.2014; it is published: 05.05.2014.

Зубань Юрій Олександрович – кандидат технічних наук, директор організаційно-методичного центру технологій електронного навчання, доцент кафедри електроніки і комп'ютерної техніки, Сумський державний університет (вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна).

Зубань Юрий Александрович – кандидат технических наук, директор организационно-методического центра технологий электронного обучения, доцент кафедры электроники и компьютерной техники, Сумский государственный университет (ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина).

Zuban Yuriy – PhD in Technical Sciences, Director of E-learning Technologies Center, Associate Professor of Department of Electronics and Computer Technics, Sumy State University (2 Rymaskogo-Korsakova Str., 40007 Sumy, Ukraine).

E-mail: zuban@elearning.sumdu.edu.ua

Лаврик Тетяна Володимирівна – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет (вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна).

Лаврик Татьяна Владимировна – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры компьютерных наук, Сумский государственный университет (ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина).

Tetiana Lavryk – PhD in Pedagogical Sciences, senior lecture of Department of Computer Science, Sumy State University (2 Rymaskogo-Korsakova Str., 40007 Sumy, Ukraine).

E-mail: metodist@dl.sumdu.edu.ua

Scopus Author ID: 55674106600

Іванець Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, декан факультету електронних та інформаційних технологій, доцент кафедри біомедицинських радіоелектронних апаратів і систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Иванец Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, декан факультета электронных и информационных технологий, доцент кафедры биомедицинских радиоэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Ivanets Sergii – 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

Vladimir Balaz, Marek Vagas, Jan Semjon, Rudolf Rusnak

ASSEMBLY WORKSTATION WITH VISUAL SYSTEM OMRON F150-3 FOR THE RECOGNITION OF COMPONENTS

Владімир Балаз, Марек Вагаш, Ян Семйон, Рудольф Руснак

СКЛАДАЛЬНА СТАНЦІЯ З ВІЗУАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ OMRON F150-3 ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ КОМПОНЕНТІВ

Владимир Балаз, Марек Вагаш, Ян Семйон, Рудольф Руснак

СБОРОЧНАЯ СТАНЦИЯ С ВИЗУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ OMRON F150-3 ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ

The contribution describes workstation recognition undirected objects. The workstation is equipped robot Scara Yamaha YK600X, which is used for handling and palletizing of parts. Recognition component is used CCD camera Omron F150-3. Workstation transport system consists of two vibration trays, vibration conveyor and two belt conveyors. Control workstation is built on the base PLC omron CP1H.

Key words: control system, visual system, robot SCARA.

Fig. 6. Bibl.: 12.

Описано розпізнавання робочих станцій неорієнтованих об'єктів. Робоча станція оснащена роботом SCARA Yamaha YK600X, який використовується для оброблення і пакування деталей. Для розпізнавання компонента використовується ПЗС-камера Omron F150-3. Система транспортної робочої станції складається з двох лотків вібрації, вібрації конвеєра і двох стрічкових конвеєрів. Робоча станція управління побудована на базі ПЛК виробництва OMRON CP1H.

Ключові слова: система управління, візуальна система, робот SCARA

Рис.: 6. Бібл.: 12.

Описано распознавание рабочих станций неориентированных объектов. Рабочая станция оснащена роботом SCARA Yamaha YK600X, который используется для обработки и пакетирования деталей. Для распознавания компонента используется ПЗС-камера Omron F150-3. Система транспортной рабочей станции состоит из двух лотков вибрации, вибрации конвейера и двух ленточных конвейеров. Рабочая станция управления построена на базе ПЛК производства OMRON CP1H.

Ключевые слова: система управления, визуальная система, робот SCARA

Рис.: 6. Библ.: 12.

Introduction. Currently, more intelligent assembly robot cells is a fast moving area in increasing the efficiency of assembly cells. Increasing intelligence must be achieved in order for the cell itself able to make decisions based on data obtained from various devices sensing process flow in the cell. In the case of irregular arrangement of objects on the pallet will set a situation where you can not use a fixed program and network deployment. In this case, it is appropriate to recognition the objects placed on the pallet and detecting the orientation of the CCD camera used.

A typical industrial camera captures and transmits images through a standard by camera bus, such as Camera Link or IEEE 1394 to connect to a PC or image processing systems, which evaluate images to extract the useful information. Intelligent cameras simplifies this process, as image analysis takes place directly in the camera. Their core is a processor on which a complete set of algorithms works on vision. Image sensor used in smart cameras is a high-quality CCD sensor type that can scan monochrome images in VGA resolution (640 x 480) at up to 60 frames per second. CCD sensor produces sharp images, increasing the accuracy of algorithms such as edge detection and pattern recognition. Intelligent camera control system given the necessary information about the object and then sends a signal to the robot (manipulator) for correctly grasping an object.

Camera systems used in robotic applications. For computer vision in automation and industrial production assumed the connection of vision. With the advancement in the field of semiconductor technology and microprocessors, the price decreased vision sensor, allowing greater penetration of these devices in the enterprise and the overall in industrial automation. Value camera system versus achieve quality benefits in production over time equalized, the market came new technologies faster processor for processing the flow of image information

with higher computing power, more memory, and today it can already be stated that CCD camera systems are a part of every major industrial operation. When mass production, which applies the so-called. Totally controlled (TQM) each piece of product produced visual inspection systems are simply irreplaceable. The industry is generally most frequently used camera to control product quality. The check is performed by comparison of shapes and geometric characteristics of parts manufactured with standard components. You are in memory of the camera system sometimes already inserted during the calibration of the cameras. Some applications of the camera system can be seen in Fig 1.

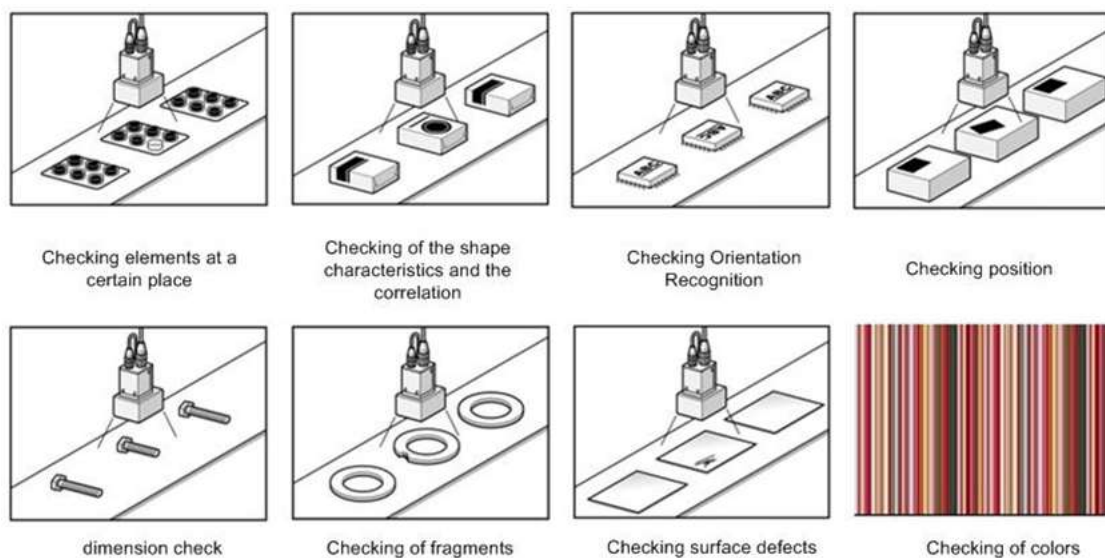


Fig. 1. Application camera system

Another application of cameras in the industry's control over the technology. Here is one example. continuous monitoring of machine welding using special cameras. This control is carried out even in the course of welding and allows the "real time" correction setting welding machine which performs welding, thus achieving optimum adjustment of the length of the weld. Undoubtedly progressive trends deployment of CCD systems in the industry (and laser scanner) is the ability of the subject of various shapes and sizes and their import into CAD systems using special software that converts the recorded object to a compatible 3D model. The most difficult elements of such a system is undoubtedly the software that implements the conversion and very important is its link with the actual scanning device and its moving parts, so in order to scan the object from different sides and angles. Reconstruction of scanned objects, and coordinate transformation within CAD systems will be made only after taking a sufficient number of views.

Identification and optimal navigation paths actuators and industrial mobile robots Another vast area where find their application video surveillance in industrial production. These systems have the task to find the most suitable trajectory of movement of the robot and avoid collision situations with other objects, so that the dynamically changing surroundings robot equipped with cameras to ensure smooth operation, shorten production times and avoid adverse events. Vision systems are often used to handling systems, material and robots for general management and also sort and selection of storage. Guidance of robots with vision systems provide solutions for industrial process automation, which increases production capacity and reduces the usual time of manufacture, saves money and increases overall production.

Camera system omron f150-3 (2d). The conceptual design of the cell assembly it is possible to use an inspection camera system OMRON F150-3, consisting of a camera and an evaluation unit. The camera lens is built and also has a passive lighting. Around the camera lens is placed a ring of red LEDs that forms the passive optical source and is used to illuminate the scene with adjustable brightness. Synchronizing measurement is carried out via

Digital input and output lines that are associated with the control system via the communication port RS 232/422. Fig 2 jis an inspection camera system OMRON F150-3.



Fig. 2. Inspection camera system Omron F150-3

Term vision system 35 images, which are then used as patterns for recognition. One image is saved as a template and 34 as a possible failure. The system then compares the real scene and saved designs and evaluates the compliance rate. A slot for a standard portable Flash memory is part of the system, which can store image patterns, pictures of settings, but also real scene. Exit system displayed on the screen and user administration. The flaw rectangular area is automatic and adjusts the measured object. The system adjusts the measuring area when changing position the subject, which affects the rate of assessment. Rotated object is covered by rotation from 0 to 360 degrees, giving the position and angle of rotation. Method of measuring the distance of the two edges is used to determine the length or width of the object.

Camera system OMRON F150 - 3 is composed of the following components:

- Two camera F150- S1, F150-S1A, 35mm lens
- F 150- KP, control unit camera system
- Basic control unit F150-C10E-3,
- LCD monitor F150- M05L
- Interfaces CompoBus/D, RS-232C
- Power supply and the associated cabling (F150- VS)
- Personal computer connected via serial port to the control unit
- F150-A20, unit that allows you to connect two cameras

Basic parameters of control unit F150-C10E-3 (specific features and functions), Fig.3:

- Number of connectable cameras – 1 until 2 (the use of F150 – A20).
- The number of pixels – 512(H) x 484 (V).
- Number of images – 16 (option to back up to a personal computer via serial port RS-232C).
- Image storage function - max. 23 saved images.
- Image processing method - Gray / Binary.
- Image filtering - smoothing, edge enhancement, edge extraction, background suppression.
- The number of digital levels - 256 to one area.
- The number of measurement regions - 16 regions / image.
- Measurement data - binary center of gravity and surface angle axis correlation value, search positions, position played, debugging, density averaging, rising edges.
- The functions of data operations - arithmetic calculation, distance, angle, max / min value, absolute value, etc.

- Results output - the overall result, outcome measurement / individual area (output can be connected in parallel via the serial port RS-232C).
- Linking monitor - 1 channel.
- Connection RS -232C - 1 channel.
- The number of parallel input / output (I / O) - Output 11/21 outputs (including control I / O points).
- Types I/O – NPN,PNP.
- Supply voltage - from 20.4 to 26.4 VDC (including ripple).
- Current consumption - 0.5A (approximately).
- Focal lenses mounted on the lens: 35 mm.



Fig. 3. Control unit of camera system F150-C10E-3

When applying intelligent light source due to the evenly lit scene with the measuring target object measurement is possible camera F150 - SLC50 capture object smaller than 50 x 50 mm at a distance of 16.5 to 26.5 mm. If the end user of the camera system chooses instead an intelligent light source to deploy common additional light source, so when the camera type F150 - SL50 can in the field of view camera detects an object the same dimensions (<50 x 50 mm), but from a distance (approx. 66 to 76 mm). Field of view cameras F150-S1A with 35 mm lenses without intermediate member at a distance of approx. 600 mm to 3000 mm from the object manipulation is from 50 x 50 to 300 x 300 mm. [2][3]

Assembly workstation with visual system. Robot with a camera Omron F150 is being built under the project, which is to be implemented workstation for laboratory tests SCARA robot for manipulating 3D objects undirected a visual system. Workstation with robot SCARA and camera system Omron F150-3 is Fig.4.

Components workstation:

- SCARA type of robot - industrial robot.
- Exchanges of equipment effectors - automatic device allows smooth change of effectors according to the requirements of the control system.
- Intelligent input conveyor - conveyor which operates semi-finished products or pallets.
- Output conveyor - conveyor which operates pallets, semi-finished or finished products.
- Vibratory conveyors - vibrating conveyor for conveying the material.
- Vibrating stack - used for storage and orientation of components in the desired position.
- Palletizing devices - devices capable palletize of palette as required.
- PLC control - control system upper level is able to communicate with subordinate control systems.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- Touchscreen - a device used to control and display information on the implementation process.
- Rotary actuators - Actuator used to create modular devices.
- Notebook - powerful laptop for programming handling equipment
- The control computer - PLC - control computer for the top management of the robotic cell and operate peripheral devices.
- Powerful computer - PC - a powerful computer for online and offline operation and programming of the robot
- Universal gripper - universal gripper for the gripper for handling components.
- Camera system – vision system for robot.

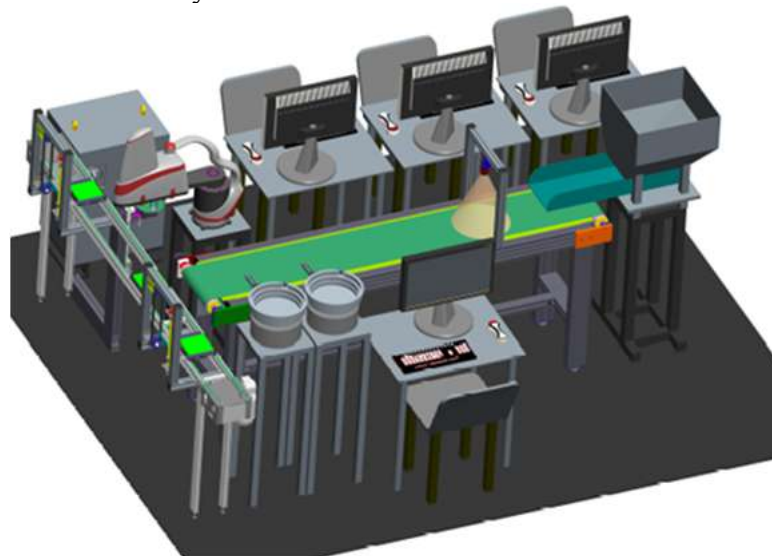


Fig. 4. Design automated Workstation for recognition components by cameras

To stand above the belt conveyor conveying the input volume parts are cameras whose field of vision covers the entire width of the conveyor. Manipulation of objects, handled by SCARA robot are a total of three. Representative volume element is a plastic molding designed for installation in electrical wall switches with power to 230 V. surface elements constituting the switch assembly, coming from work vibrating trays are made of steel thickness of 1 and 0.7 mm. The assembly composite switch without connecting material is shown in Fig. 5. [9][10]

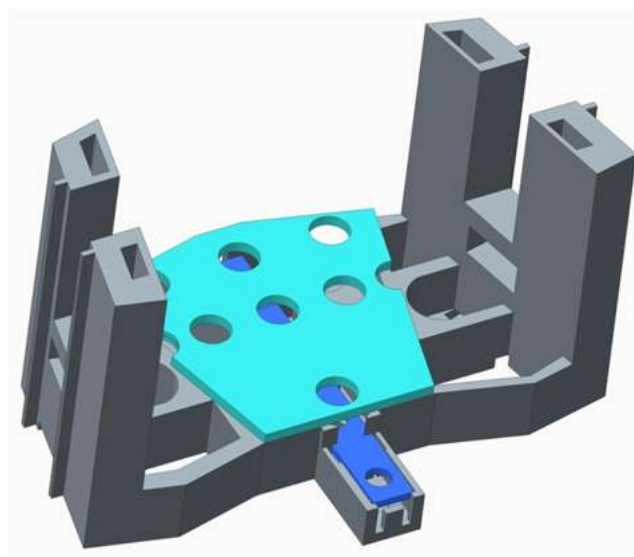


Fig. 5. The assembly mounted switch

Real workstation is mounted SCARA Yamaha YK600X QRCX with control system and camera system Omron F150-3. Control assembly workstation provide two PLC Omron CP1H-type units and CP1E. Camera system connection with the control unit PLC CP1H provided via RS232C PLC CP1L. The control unit is realized by a touch panel where we can choose from two modes - manual and automatic. Supply of pallets is solved by using the output conveyor with palletizing and depalletizing unit which are driven by stepper motors. The individual components of the assembly are located in two vibratory trays and a vibrating conveyor. Components of vibratory trays are taken out of the robot fixed positions. The components of the vibrating conveyor belt is transferred to the input conveyor, which are transported by the camera, where the position captured. Information about position components are sent to control system of workstation (PLC CP1H). Control system sends commands to control the robot QRCX. Robot gets coordinate components of the input conveyor and moves to the desired position, where the performance grip part and then stores it on a pallet. Palletizing and depalletizing system ensures supply of empty pallets and removal of full pallets. The workstation is equipped with a replacement system effectors in the event of a change for the workstation. Fig.6.



Fig. 6. Workstation of SCARA robot and vision system Omron F150-3

Conclusion. Workstation will serve to verify the non-oriented algorithms for recognizing 3D objects for students to solve and projects. In collaboration with Yamaha YK600X robot can perform assembly processes, palletizing and depalletization. System for the exchange of effector extends the capabilities of the new components.

"Paper is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, ITMS: 26220220182, supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF."

References

1. BRYAN, A.: Co-evolution of product families and assembly systems, The University of Michigan 2008.
2. CORKE Peter: Visual Control of Robots. Dostupné na Internet: <http://www.petercorke.com/bluebook/book.pdf>.
3. De Xu: Embedded Visual system and Its Applications on Robots.
4. DOBEŠ, Michal: Zpracování obrazu a algoritmy c C#. Praha : BEN-technická literatura, 2008, 144 s.
5. HAJDUK, M.: Pružné výrobné bunky, Vienaľa Košice, 1998.
6. JURÍŠICA L., HUBINSKÝ P., KNOT J.: Algoritmy spracovania dynamických obrazov, AT&P Journal č.2/2004 str.79-82.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. MICHELINI, R., ACACCIA, G., CALLEGARI, M., MOLFINO, R., RAZZOLI, R.: Computer-Integrated Assembly for Cost Effective Developments, CRC Press LLC/Lewis Publishers, BOCA RATON, USA, 2001.
8. SONKA M., Hlavac V., BOYLE R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision, https://www.google.sk/search?q=Image+Processing,+Analysis,+and+Machine+Vision,++pdf&ie=utf-8&oe=utf-8&gws_rd=cr&ei=pPvXVtiIFuaL6ASts4TQAQ.
9. SUKOP M., HAJDUK M., BALÁŽ V., SEMJON J., VAGAŠ M.: Increasing degree of automation of production systems based on intelligent manipulation, 2011. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč. 15, č. 4 (2011), s. 58-63.
10. TRUCCO E., VERRI A.: Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall Inc., New Jersey 1998.
11. VAGAŠ M., SUKOP M.: Architecture of robot with emphasis to 3D vision system - 2012. In: Transfer inovácií. Č. 23 (2012), s. 169-172. Spôsob prístupu: <http://www.sjf.tuke.sk/transfereinovacii/pages/archiv/transfere/23-2012/pdf/169-172.pdf>.
12. VAGAŠ M., SEMJON J.: Design of Robotized Workplace for Verification of Selected Types of Algorithms and Methods for Randomly Oriented Objects - 2015. In: Applied Mechanics and Materials : Theory and practice of industrial and production engineering. Vol. 791 (2015), p. 195-200. Spôsob prístupu: www.scientific.net...http://www.machinevisiononline.org.

Vladimir Balaz – Eng. Ph.D., scientific researcher, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Владимір Балаз – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Владимир Балаз – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: vladimir.balaz@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016664100

Marek Vagas – Eng. Ph.D., scientific researcher, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Вагаш – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Вагаш – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.vagas@tuke.sk

Scopus Author ID: 55014596100

Google Scholar link: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=zQLHOh4AAAAJ>

Jan Semjon – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ян Семйон – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ян Семйон – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: jan.semjon@tuke.sk

Scopus Author ID: 55571411200

Rudolf Rusnak – Eng., Company owner/partner, 2R Invest s.r.o., Bratislava, Slovakia.

Рудольф Руснак – Eng., власник / партнер компанії, 2R Invest s.r.o., Братислава, Словаччина.

Рудольф Руснак – Eng., владелец / партнер компании, 2R Invest s.r.o., Братислава, Словакия.

E-mail: rudolf.rusnak@2rinvest.com

Scopus Author ID: 57191828540

UDC (07)621.7:621.8

*Rudolf Janos, Marek Sukop, Jozef Varga, Vaclav Kubak, Jaromir Jezny***PRECISE POSITIONING ACTUATORS WITH STEPPER MOTOR***Рудольф Янош, Марек Сукоп, Йозеф Варга, Вацлав Кубак, Яромир Йезни***ТОЧНЕ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРИВОДІВ ІЗ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ***Рудольф Янош, Марек Сукоп, Йозеф Варга, Вацлав Кубак, Яромир Йезни***ТОЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ПРИВОДОВ С ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

The aim of the industrial research addressing complex robotic modules forming positioning system with extremely high positioning accuracy of at least 0.5 microns, which will be competitive for success in the global markets, especially for experimental systems prestigious European and world research centers. That system should meet the increased demands for rigidity, resistance to thermal stress, resistance to radiation. An important part of the solution is the optimization of the kinematic structure of marshalling and control of the system.

Key words: high-precision positioning actuators, precision sensors, stepper motor.

Fig. 2. Bibl.: 6.

Мета сфери промислових досліджень полягає в розгляді складних роботизованих модулів, що утворюють систему позиціонування з надзвичайно високою точністю позначення, щонайменше 0,5 мкм, які будуть конкурентоспроможними на світових ринках, особливо для експериментальних систем престижних європейських і світових науково-дослідних центрів. Ця система повинна відповідати підвищеним вимогам до жорсткості, стійкості до термічних навантажень, стійкості до радіації. Важливою частиною рішення є оптимізація кінематичної структури сортування та управління системою.

Ключові слова: високоточні приводи позиціонування, високоточні датчики, кроковий електродвигун.

Рис.: 2. Бібл.: 6.

Цель области промышленных исследований заключается в рассмотрении сложных роботизированных модулей, образующих систему позиционирования с чрезвычайно высокой точностью обозначения, по меньшей мере 0,5 мкм, которые будут конкурентоспособны на мировых рынках, особенно для экспериментальных систем престижных европейских и мировых научно-исследовательских центров. Эта система должна соответствовать повышенным требованиям к жесткости, устойчивости к термическим нагрузкам, устойчивости к радиации. Важной частью решения является оптимизация кинематической структуры сортирования и управления системой.

Ключевые слова: высокоточные приводы позиционирования, высокоточные датчики, шаговый электродвигатель.

Рис.: 2. Библ.: 6.

Introduction. An important part of the modules constituting the positioning system with extremely high positioning accuracy are their own drives (actuators).

Transmission of positioning mechanisms are functional groups in which the conversion is effected a transfer of energy necessary for the performance of the manipulator movement.

The drive is generally made up of a source of movement and transformation mechanism (transmission). The task source movement is the conversion of input energy into kinetic energy of a moving source movement. The power is positioning mechanism is put his arm (support member) in the prescribed manner to a designated state of motion so that the positioning mechanism implemented desired movement prescribed accuracy and speed. Drive - positioning actuator may utilize hydraulic, pneumatic or electric motors.

Motor drive unit of actuator pointing device. To drive the actuators are the demands made especially for extreme accuracy at a relatively great power and precision of the mechanical position.

Comparison of the different engine types for this requirement appears to be the most appropriate component using a stepping motor, which provides optimum properties in the control position with extremely high precision.

The comparison of the main advantages and disadvantages and to other types of engines as above, starting with a step motor allows you to set extremely precise mechanical positioning of the shaft as the most appropriate fundamental component of the generated torque in the assembly precision of the positioning.

The positioning system is increasing the final positioning accuracy. Currently used mainly electrically driven with a gear system (reducer), speed sensors and control system, is a structure of the drive chain of the robot arm, fig. 1.

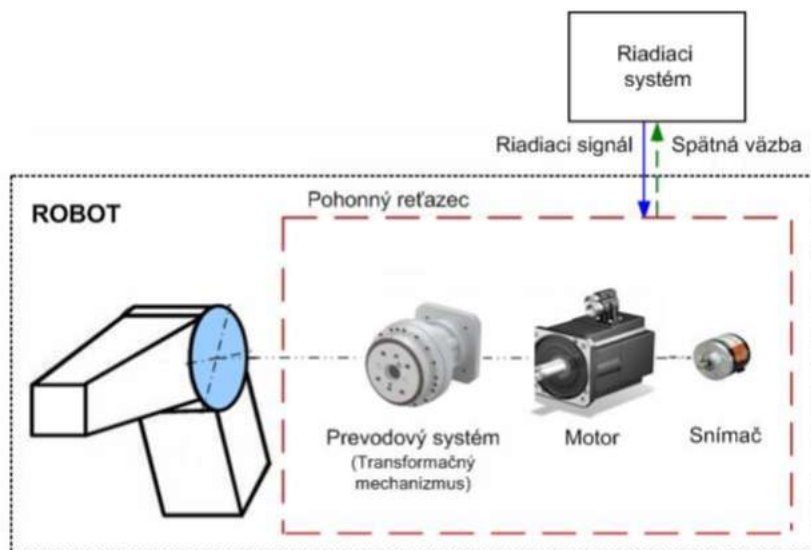


Fig. 1. Form of unilateral grasping

Structure of positioning actuator. The positioning actuator is conceptually built as an electric servo-mechanisms for controlling position (angle of rotation or through mechanical transmission feed path) action mechanism machine system, composed of precision gearboxes save the output in precision roller bearings and motors in a structural and functional compact built on the axial layout and dimensionally fair built-up area. Functionally crucial elements coaxially arranged aggregate of positioning actuator (compact drive unit) is an electric motor, gearbox, power semiconductor converters for power and control motor speed controller, respectively. position, engine components are typically speed and position sensors, representative characteristics and parameters of the module, the output member. POWERTRAIN actuator must allow for four-quadrant operation, ie Both directions of rotation and torque both directions. The actuator operates in closed loop feedback position control is either target (optimal positioning - manipulators, positioners, positioning tables, ...) or tracking (time optimal positional adjustment as soon as possible, follow the desired path / Precise Input speed - robots, multi-axis machine tools, antennas and monitoring systems, etc.). Speed control is only expressway feedback enables quick and precise monitoring of the desired speed. The system model actuator describes the concept for addressing the aggregate of (the drive with a transformative mechanism transformation mechanism for changing the kinematic parameters of movement - speed movement) and also describes the internal structure of the building actuator (complete block diagram), which is based on system components (basic internal functions module), (fig. 2).

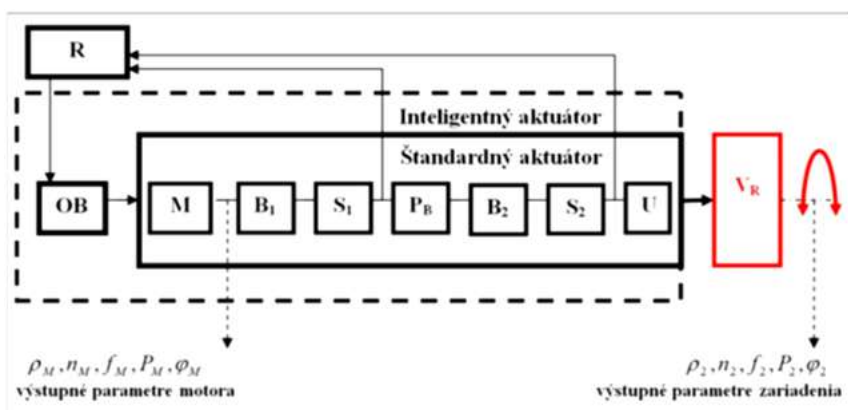


Fig. 2. System model of actuator

Sensors for detection position. In this case, it is essential that the position sensor which will verify the functional features and the parameters of the model have the measuring range

respectively. The resolution measured values several times higher than the desired resolution positioning of the load.

When determining the positioning accuracy of +/- 1 micron encoder must have a resolution better than 0.1 microns. It must also meet the minimum mechanical dimensions to put the sensor integrated into the interior of the drive.

One of the most preferred candidates for sensing the position of the ultra-precise dimensions Renishaw sensors that provide the required parameters to the linear position measurement and for measuring the position of the rotary output.

To measure the position of the linear actuator is suitable type of sensor board RESOLUTE - Absolute Optical linear encoders. This sensor provides a resolution of up to 5nm position.

The linear actuator is the most appropriate solution using linear transformer known in the tech world by the acronym LVDT (Linear Variable Differential Transformer). The sensor itself works on the principle of electromagnetic and contains no semiconductor devices. When properly selected material can be produced in a version in radioactive environments. This is necessary to negotiate with a particular manufacturer as a customer solution, as commercially available sensors are manufactured for commercial use without resistance to radiation.

Selection of the appropriate sensor is subject to two main requirements - the required dimensions and the ability to position resolution of 0.5 microns. What mattered was several leading manufacturers such sensors, and most importantly the ability eventually to produce sensor resistant to radiation.

Conclusion. It developed a number of conceptual proposals for the target application that is positioning system for positioning kryomagnetov Compact Linear Collider. Some suggestions based on previous experience with the positioning of some of the Large Hadron Collider.

Contribution has arose with advancement of project: Výskum a vývoj inteligentných mobilných robotických platforiem a polohovacích systémov s vysokou presnosťou pre využitie vo výskume, vývoji a v priemysle, (2015-10961/33306:2-15F0).

References

1. ČOP,V., SMRČEK, J., ŠOLTÝS, V.: Modules for Higher Precision of Rotary Units Positioning (Moduly s vysokou presnosťou pre polohovanie rotačných častí). In: Proceedings 33rd Int. Symp. "ISR 2002 – International Symposium on Robotics", IFR – International Federation of Robotics, Stockholm (Sweden) 2002, Ref. No. 007.
2. ĎUROVSKÝ, F. a kol.: Load torque emulator in testing power converters for small vehicles. In: 24. microCAD : international scientific conference, 18-20 March 2010 : Section K : Electrotechnics and Electronics. - Miskolc : University of Miskolc, 2010 P. 19-26.
3. ELEKANIČ, L., SMRČEK, J.: Návrh počítačovej podpory pre výber snímačov neelektrických veličín. Tech. správa KVTaR/KTM/DP/2009. Sjf TU Košice, Košice 2009.
4. FAVRE-BULLE, B.: Robot Motion Trajectory-Measurement with Linear Inertial Sensors. Cutting Edge Robotics, pp. 115-132.
5. HAJDUK, M., a kol.: Analýza RPM a ich aplikácie, Výskumná správa, Sjf TUKE Košice, 2015.
6. HAJDUK, M. a kol.: Modulárna paletizačno - montážna robotická bunka: záverečná správa projektu AV/4/0007/07. Košice: TU Košice, 2009. 70 s.

Rudolf Janos – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: rudolf.janos@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016528600

Marek Sukop – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Суко́п – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Суко́п – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.vagas@tuke.sk

Scopus Author ID: 36615762200

Google Scholar link: <https://scholar.google.sk/citations?user=xw4udLwAAAAJ&hl=sk>

Jozef Varga – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозе́ф Варга – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозе́ф Варга – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: jozef.varga.2@tuke.sk

Scopus Author ID: 56268363400

Vaclav Kubak – Eng., Company owner, partner, ZTS VVU (Juzna trieda 95, 041 24 Kosice, Slovakia).

Вацла́в Куба́к – Eng., власник, партнер компанії, ZTS VVU (Juzna trieda 95, 041 24 Kosice, Slovakia).

Вацла́в Куба́к – Eng., владелец, партнер компании, ZTS VVU (Juzna trieda 95, 041 24 Kosice, Slovakia).

E-mail: vaclav.kubak@ztsvvu.eu

Jaromir Jezny – Eng., PhD., Company owner, partner, ZTS VVU (Juzna trieda 95, 041 24 Kosice, Slovakia).

Яро́мир Йезни – Eng., власник, партнер компанії, ZTS VVU (Juzna trieda 95, 041 24 Kosice, Slovakia).

Яро́мир Йезни – Eng., владелец, партнер компании, ZTS VVU (Juzna trieda 95, 041 24 Kosice, Slovakia).

E-mail: jaromir.jezny@ztsvvu.eu

Scopus Author ID: 55597272600

UDC (07)621.7:621.8

*Rudolf Janos***MOBILITY OF SELF RECONFIGURING SYSTEMS OF ROBOTS PLATFORM***Рудольф Янош***МОБІЛЬНІСТЬ САМОРЕКОНФІГУРОВАНИХ СИСТЕМ РОБОТ-ПЛАТФОРМИ***Рудольф Янош***МОБИЛЬНОСТЬ САМОРЕКОНФИГУРИРОВАННЫХ СИСТЕМ
РОБОТ-ПЛАТФОРМЫ**

This paper aims to remove barriers to mobility inherent. The current proposals robot locomotion, adaptability and extending the range of the robot with mixed / multiple modes of mobility. Designing identical elements for a modular system has several advantages over large and complex robotic systems is assumed that the robot will navigate to a known and controlled environment, or provided with a smart structure to allow free movement of the robot.

Key words: modular robots, mobility, robot platform, self-reconfiguring

Fig. 3. Bibl.: 3.

Розглянуто заходи усунення бар'єрів для невід'ємної мобільності. Запропоновано пересування, адаптивність і розширення діапазону робота зі змішаними або декількома режимами мобільності. Проектування ідентичних елементів для модульної системи має кілька переваг у порівнянні з великими і складними роботизованими системами. Передбачено, що робот буде переміщатися у відомому та контрольованому середовищі, або за допомогою спеціального пристрою, який дозволить вільний рух робота.

Ключові слова: модульні роботи, мобільність, робот платформи, самореконфігурування.

Рис.: 3. Бібл.: 3.

Рассмотрены меры устранения барьеров для неотъемлемой мобильности. Предложено передвижение, адаптивность и расширение диапазона робота со смешанными или несколькими режимами мобильности. Проектирование идентичных элементов для модульной системы имеет несколько преимуществ по сравнению с крупными и сложными роботизированными системами. Предполагается, что робот будет перемещаться к известной и контролируемой среде, или при условии, с помощью специального устройства, которое позволит свободное движение робота.

Ключевые слова: модульные роботы, мобильность, робот платформы, самореконфигурирование.

Рис.: 3. Библ.: 3.

Introduction. The purpose of this research is to introduce a new autonomous reconfigurable robotic system designed to be capable of performing urban survey, inspection, surveillance, reconnaissance and/or other similar applications. The research focuses on eliminating mobility constraints inherent in current designs, thus extending the robot's adaptability and range. Presently the locomotion of most robotic systems can be divided into three main categories: rolling, walking, and reconfigurable approach. While really effective, a rolling robot is restricted to flat horizontal and low-grade surfaces. A walking robot is able to climb and access elevated areas, but is often characterized as being slow, having complex motion and balancing issues on flat horizontal surfaces.

Reconfigurable robots display a wide range of locomotion and ability to adept to new tasks by altering their configuration. On the downside, they require many actuators, plenty of power and provide very little room for payloads. Thus there is a need to introduce a robotic system that can be efficient on flat horizontal surfaces in mobility, speed, and simplicity as well as possessing climbing ability.

Defining the basic concepts. Recent progress in technology forced the research thrusts in autonomous mobile robots to consider locomotion in non-ideal environments, mainly on unstructured terrain. Statically stable gaits that are currently available for mobile robots include wheels, treads and similar methods that limit the locomotion capabilities of a particular robot. For example, a robot using a wheeled locomotion system is probably incapable of climbing a set of stairs, or move over relatively large obstacles. Although there are many examples of robots with climbing capabilities, a robot that can move with relative ease on flat terrain with an ability to climb over large obstacles is yet to be designed. On the other hand, new technologies such as micro electromechanical systems (MEMS) opened the pathway to small-scale mobile robots. MEMS technology enables multiactuator, multi-sensor

systems that can be implemented in millimeter scale, if not smaller. Applications to use small inexpensive robots to accomplish tasks in unstructured environments and narrow spaces are slowly emerging. Drawing from the recent research on modular robots (e.g., Chen and Paredis' works^{1,2}) and on small mobile robots with limited capabilities (e.g., Millibots³), we envision a modular self-reconfigurable group of robots that consists of two modules with different characteristics. A sufficient number of modules combined as a single entity will be capable of self-reconfiguring themselves into defined shapes, which in turn will provide a new type of locomotion gait that may be combined with other capabilities. A large group of modules that can change its shape according to the locomotion, manipulation or sensing task at hand will then be capable of transforming into a snake-like robot to travel inside a air duct or tunnel, a legged robot to move on unstructured terrain, a climbing robot that can climb walls or move over large obstacles, a flexible manipulator for space applications, or an extending structure to form a bridge.

Designing identical elements for a modular system has several advantages over large and complex robotic systems. The units can be mass-produced, and their homogeneity can provide faster production at a lower cost. A large system consisting of many elements is less prone to mechanical and electrical failures, since it would be capable of replacing nonfunctioning elements by removing them from the group and reconfiguring its elements. Homogeneous groups of modules that are capable of self-reconfiguring into different shapes also provide a manufacturing solution at the design phase where identical elements are considered, while providing a modular system that can be re-arranged for different tasks.

To obtain the advantages listed above, a modular system must have several essential properties, such as geometric, physical and mechanical compatibility among individual modules. Furthermore, several design issues need to be considered for a modular self-reconfiguring system to become autonomous. Essential properties of our particular system as well as design issues relating to the implementation are given in Section 2.

Previous work on modular robotics include serial link manipulators that can be designed based on task specifications⁴, design of kinematic structures that can be modularly synthesized⁵, and cellular systems as self-organizing manipulators⁶. These and similar ideas on modularity has been applied to modular structures that are capable of self-reconfiguring into desired shapes. Previous 2-D examples include Inchworm⁷ and self-organizing robots⁸ moving in vertical plane, self-repairing Modula machine⁹ and metamorphing robots¹⁰ moving in horizontal plane. Recent 3-D systems include Polypod that can combine different gaits¹¹, and the self-reconfiguring molecule¹² and another self-reconfigurable structure¹³ that are both capable of moving in any direction using neighboring elements as pivot points.

The system described here is a self-reconfiguring bipartite system that separates the components that provide computation, sensing and power from the components that provide actuation in order to combine different gaits and task-oriented modules with self-reconfiguration capabilities. In the next section, we introduce our approach to modular self-reconfiguring robotic system, defining its characteristics and advantages. Section 3 illustrates simple examples of reconfiguration and motion in three-dimensional space. Section 4 describes the hardware implementation while Section 5 discusses the experiments on recent prototypes. Section 6 concludes the paper with a discussion on current implementation and future additions.

A integrated self-reconfiguring system solution specifics. Effort about complexity activity in the range integrated kinematical chain (interaction, manipulation, locomotion) prevents to the development and the application of new structures for robotic technology and at the same time evokes need of new conceptions element and knot in she application. In the robotic technology this handicap maybe in part eliminates with solutions susceptible transformation and extension functions [2] following:

- multifunction realization modular,
- adaptability, exploitation optimal principle generation energy and her transformation,
- reconfigurable accomplishments, exploitation integrated kinematics building chain,
- effective adaptive way control for immediate and reversible operations.

A result of solution is smaller number of autonomous subsystem and adaptability to the various production tasks and optional form surroundings, par example about reconfigurable bucking - locomotion subsystems. The bucking - locomotion subsystem provide effective movement of robotical technical on the working scene- down integration near the change her position (place, position, orientation) and the management working element for immediate respectively transposed execution of production operations (technological, bucking) after determination trajectory.

Conception model simple. A particularity of integrated cinematic X,Z- manipulation and locomotion on fig. 1.a.- simple is visualization of relative relation of terminative members (basic, working) kinematical chain to the reference base. Create her two shoulders, which are fall one termini joint coupled, and on the second, relatively free end measure multifunction joint- sliding and fixed (arm 1) and sliding, fixed and effectors (arm 2).

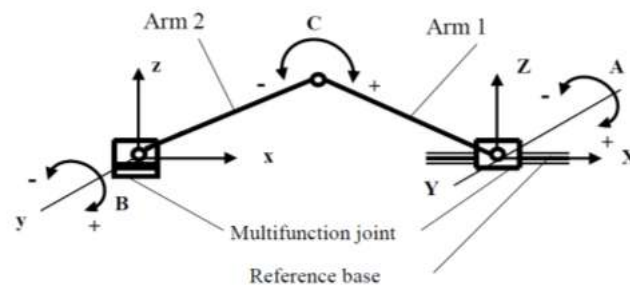


Fig. 1. Simple conception model of integrated kinematics of robotic technical

Integrated kinematics allows a plane motion of terminative elements (advance motion in the axis x a z , rotational motion around axis y), derivative from the integrated building chain with three degrees of freedom. The answer construction with of three control motion (turning around dot A a B, crank around dot C).

Conception model pair. A modeller conception of integrated cinematic robotic technical (fig. 2) is founded on the couple in parallel arrangement couple shoulders from Fig. 1.

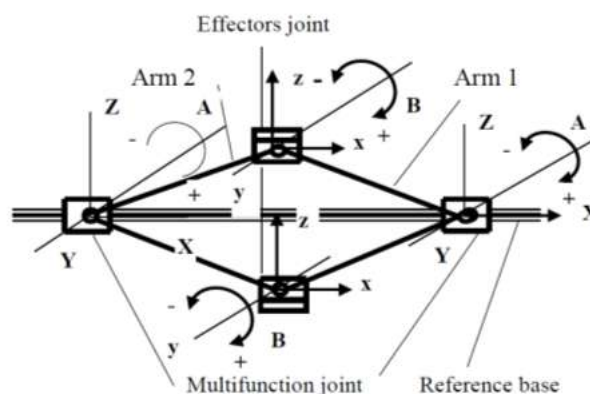


Fig. 2. Pair conception model of integrated kinematics of robotic technical

Output for application. Used solutions (fig. 1 and fig. 2) utilize system of traversing linear, generally symmetrical arrangement drives (fig. 3).

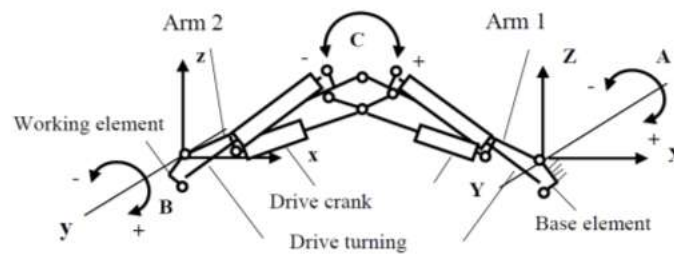


Fig. 3. Construction model of reconfigurable service robots

The regime of locomotion (changes position of robotical technical) is realized by interchange of carrying bases, i.e. carrying base (frame) gradually he'll ride (in the conclusion bucking cycles) of joint of shoulder 1 on joint of shoulder 2 until then, as far as oneself unhitched movement in a necessary scope. In this manner way maybe to reach a change of position at upright respectively horizontally plain (perpendicular wall, ceiling), namely by either directly (climbing to wall), or indirectly (utilizing cable and systems of poles).

Volts regime manipulation (technology) oneself performs sequence bucking/technological activities on working area. This is realized during renovation and constitution robotically technical in asking spoil (carrying base lives ever joint shoulders 1) in opening bucking cycles per second.

Sector of development and application

Connect her above all with the development of this characteristic:

- relative advantage, priority of new technique to existent technology,
- compactness, degree of suitability characteristics for new modifications technology,
- compatibility, degree of suitability characteristics for new purposes,
- integration, suitability switch-over with others elements,
- complexity, celestnost and systems approach.

To plan new solutions robotical technique near acceptance this characteristics and concrete realization condition maybe following by:

- new progressive materials (light alloys, composite constructional materials with carbonaceous and glass fibre eventually polymer),
- new constructions(material replacement, kinematical replacement) connected with hike stiffness and cut-down weighted a cost machine system,
- integrated constructions (integration and replacement of functions) connected with cut-down membership kinematical chain and extension function,
- harmonization grades universality of mechanisms transfer and transmission with a question of precision positional and her repeatability,
- cut-down of unproductive time darling machine system, cut-down continuous bucking time and maximization of working parameters for away bucking of the process,
- standardized modules for standard and non-standard applications.

Another of way to increase technical economic level is development of robotical technique following multilaunching integration of reconfigurable modules. The result is reduction of machine module and simplification technological realization, e.g. in form instrument- part modular system [2].

Conclusion. This research presents an innovative robotic system, which can be used for a wide variety of applications. The models of integrated kinematics of robotical technique are assigned to realization demanding working task (line and operate mode near manipulation and profiled object) on working surface upright (wall) lotuses. horizontally (ceiling) arrangement. By program they introduce cartage- bucking respectively multiprofessional production

module logistic chain amounting to far wide variability effects, than what a could oneself reach near individual used single-function modulated.

Contribution has arose with advancement of project: Výskum a vývoj inteligentných mobilných robotických platforiem a polohovacích systémov s vysokou presnosťou pre využitie vo výskume, vývoji a v priemysle, (2015-10961/33306:2-15F0).

References

1. FAVRE-BULLE, B.: Robot Motion Trajectory-Measurement with Linear Inertial Sensors. Cutting Edge Robotics, pp. 115-132.
2. HAJDUK, M., a kol.: Analýza RPM a ich aplikácie, Výskumná správa, SĽF TUKE Košice, 2015.
3. LIPSON, H., POLLACK, J.: Automatic design and manufacture of robotics lifeforms. Nature 406, pp. 974-978.

Rudolf Janos – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: rudolf.janos@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016528600

Ondrej Jurus, Marek Sukop, Michal Spak, Miroslav Stofa

EXTENSION FUNCTIONAL PROPERTIES OF ROBOT

Ондрей Юруш, Марек Сукоп, Міхал Шпак, Мірослав Стофа

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОТОТЕХНІЧНОГО ПРИСТРОЮ

Ондрей Юруш, Марек Сукоп, Міхал Шпак, Мірослав Стофа

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

When modernizing the production process, the company that deploys the robot in the production process to take care on several factors. When choosing a robot, the company selects the catalog robot parameters such as repetition accuracy, range work, weight capacity and other parameters. It is considerable to the user of a robot takes care the possibility of extending the robot. An example is the deployment of a robot in the spray process for automotive industry by subcontractors.

Key words. IRB 1600, DSQC 652, extension properties.

Fig.: 8. Bibl.: 4.

Модернізуючи виробничий процес, компанії, яка впроваджує робототехнічні пристрої в виробництво, необхідно враховувати деякі фактори. Під час вибору робота, компанія вибирає параметри каталогу робота, такі як точність повторення, діапазон роботи, ємність ваги та інші якості. Використовуючи робототехнічні пристрої, необхідно потурбуватись також про можливості розширення їх функцій. Прикладом може служити розгортання робота у процесі розпилення для автомобільної промисловості субпідрядниками.

Ключові слова: IRB 1600 DSQC 652, властивості розширення.

Рис.: 8. Бібл.: 4.

Модернизируя производственный процесс, компании, которая внедряет робототехническое устройство в производство, необходимо учитывать некоторые факторы. При выборе робота, компания выбирает параметры каталога робота, такие как точность повторения, диапазон работы, емкость веса и другие качества. Используя робототехническое устройство, необходимо позаботиться также о возможности расширения его функций. Примером может служить развертывание робота в процессе распыления для автомобильной промышленности субподрядчиками.

Ключевые слова: IRB 1600, DSQC 652, свойства расширения

Рис.: 8. Библ.: 4.

Description of robot. For spray application adhesive material was deployed robot ABB, namely model IRB 1600, Fig. 1 with a range of 1.45 m and a maximum load capacity of 6 kg.

Robot thanks to the relatively small size is suitable for small workplace. It is necessary to take account of this fact in the creation of cells. The reason for this is to minimize the need to change the material flow. In view of the workspace, Fig. 2 a robot it is to maintain the existing lines very important.

Robot comes with control system IRC5, Fig. 3 in single cabine design. This system is equipped with software RobotWare version RW6.02_01.00.1029 for control six main axis. It can be expanded to include other 3 axis. To assist the user the discretion a robot shoulder to the floor.



Fig. 1. Robot IRB 1600 [1]

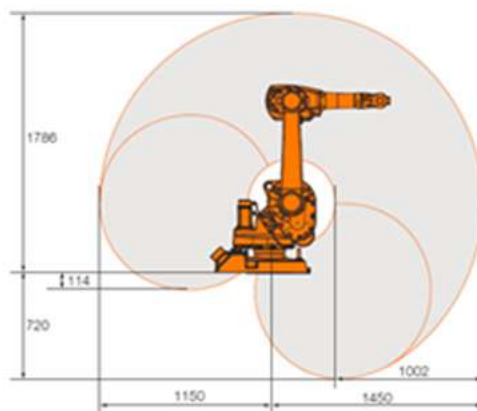


Fig. 2. Workspace of robot IRB 1600 [1]



Fig. 3. Controller IRC5 [1]



Fig. 4. I/O board DSQC 652 [3]

To expand the opportunities of the robot is equipped with a control system I / O board DSQC 652, Fig.4. This board adds the ability to control via a digital signal peripherals.

Devicenet. This is a data network used to automate the connecting control devices. The great advantage of the data network is able to communicate with a wide range of control equipment. A typical use of the data network DeviceNet is an information exchange between devices connect safety features and communication with large systems containing a large number of inputs and outputs. DeviceNet provides a ceiling structure of the CAN (Controller Area Network) technology. Based on the CIP protocol (Common Industrial Protocol). It is a low cost solution for communication between elements of the system and is more stable than the traditional protocol based on RS-485.

Setting expansion module DSQC 652

To work with external devices can be used I / O cards DSQC 652. After connecting the card to the control box it is necessary to set the DeviceNet network (if not preset from manufacture).

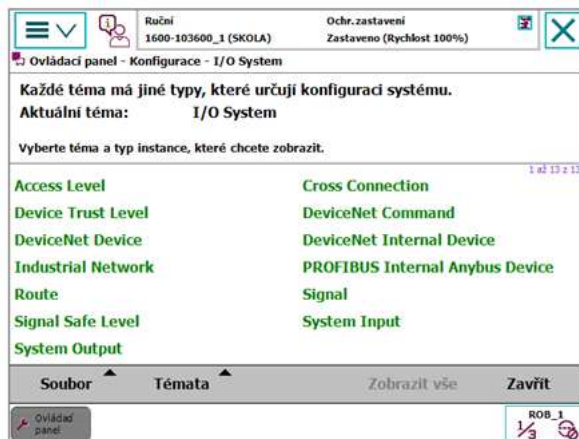


Fig. 5. Configuration

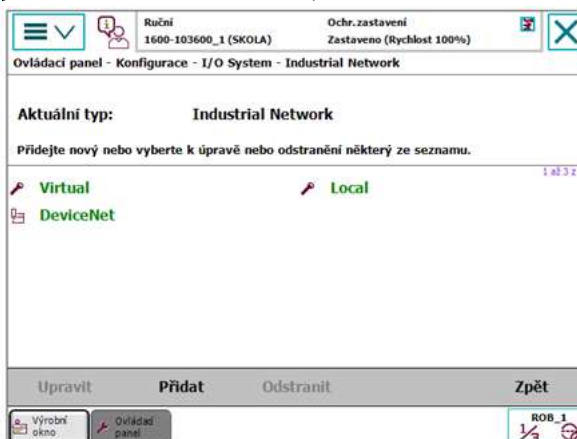


Fig. 6. DefinationDeviceNet

DeviceNet network is set in the configuration settings Fig. 5 pendant the robot. It is necessary to define a data network between industrial networks. Elements with the symbol key are elements predefined by the manufacturer. Elements with icon, where are illustrated a pencil and paper are elements defined by the user. After defining the parameters of the data network can be defined extension modules that extend the usefulness of the robot for a given technology operations.



Fig. 7. Defination of I/O signals



Fig. 8. Setting of DSQC 652

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

With functional communication parameters set forth input / output device. Expansion modules are added to the system DeviceNet Device. It is necessary to define the required parameters for identifying the device and the subsequent communication with the system. After we define this device appears in the list Fig. 7.

To work with inputs or outputs of DSQC 652 is necessary to define the various system inputs and outputs. These inputs are defined by tabs signals. This component must be assigned to each input and output accurately define the type of signal, the signal assigned to the extension module and set the address directly on the device.

This publication is the result of the project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Application Supported by Knowledge Technology, ITMS: 26220220182, supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.

References

1. ABB IRB 1600 datasheet.
2. PhilipDupree: How to set up I/O on an ABB Robot withan IRC5 Controller Box.
3. ABB DSQC 652 datasheet.
4. JonathanDixon, Oliver Henlich: Mobile robot navigation, Final report, 1997.

Ondrej Jurus – PhD student, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ондрей Юруш – аспірант, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ондрей Юруш – аспірант, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: ondrej.jurus@tuke.sk

Google Scholar link: https://scholar.google.sk/citations?view_op=list_works&hl=sk&user=kwnX2mAAAAAJ

Marek Sukop – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Суко́п – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Суко́п – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.sukop@tuke.sk

Scopus Author ID: 36615762200

Google Scholar link: <https://scholar.google.sk/citations?user=xw4udLwAAAAAJ&hl=sk>

Michal Spak – PhD student, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Міха́л Шпа́к – аспірант, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Миха́л Шпа́к – аспірант, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: michal.spak@tuke.sk

Scopus Author ID: 57191838732

Miroslav Stofa – PhD student, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing technology (9 Letna Str., 041 00 Kosice, Slovakia).

Міро́слав Сто́фа – аспірант, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Відділ технології виготовлення (9 Letna Str., 041 00 Kosice, Slovakia).

Міро́слав Сто́фа – аспірант, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Отдел технологии изготовления (9 Letna Str., 041 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: miroslav.stofa@tuke.sk

Scopus Author ID: 57191165836

UDC (07)621.7:621.8

*Jan Semjon, Marek Vagas, Vladimir Balaz***THE PROPOSAL OF MODULES FOR INTELLIGENT END-EFFECTORS***Ян Семйон, Марек Вагаш, Владімір Балаз***ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МОДУЛІ ДЛЯ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ***Ян Семйон, Марек Вагаш, Владимир Балаз***ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

The article, deals with construction design end effectors use of industrial robotics. Focuses on increase their intelligence through internal and external sensors. It uses DC actuators equipped with an accurate reducer, which ensure a high positioning accuracy of the resulting movement end-effector. Actuators allows to realize compensations to ensure correct positioning, and perform the required technological activities.

Key words: modules end-effectors, sensor, intelligent.

Fig. 5. Bibl.: 4.

Розглянуто конструкцію виконавчих механізмів використання промислової робототехніки, запропоновано підвищення їх інтелекту на основі внутрішніх і зовнішніх датчиків. Використовуються DC приводи, оснащені точним редуктором, які забезпечують високу точність позиціонування результуючого руху робочого органу. Датчики дозволяють зменшити пошкодження, забезпечити правильне позиціонування, а також виконувати необхідні технологічні роботи.

Ключові слова: модулі робочих органів, датчик, інтелектуальний.

Рис.: 5. Бібл.: 4.

Рассмотрена конструкция исполнительных механизмов использования промышленных робототехник, предлагается повышение их интеллекта на основе внутренних и внешних датчиков. Используются DC приводы, оснащенные точным редуктором, которые обеспечивают высокую точность позиционирования результирующего движения рабочего органа. Датчики позволяет уменьшить повреждения, обеспечит правильное позиционирование, а также выполнять необходимые технологические работы.

Ключевые слова: модули рабочих органов, датчик, интеллектуальный.

Рис.: 5. Библ.: 4.

Introduction. The basic task of this application is to design of intelligent positioning modules for end-effectors allowing to correct inaccuracies in the movement of the robot. Addressing these modules it is based on the use of intelligent drive consisting of a motor, precision gearbox and suitable sensor technology. The drive will move in two or three translational and rotational axes. Motion control will be implemented on the basis of information obtained from sensors placed directly for drives of positioning module, as well as the sensor working environment according to the specific requirements for each application.

Parameters and characteristics of the proposed solution. Basic parameters are based on the concept for the development of micro-motion module MT and MR of based applications TS / DS produced in SPINEA. The proposal is based on the use of precision reducers TS series 30-70 and their application in the corresponding DS. The development has been solved for the type of dimension series with a uniform standard mechanical INTERFACE (clamping flange). Describes the individual elements intelligent end effector, Fig. 1 [1].

The basic parameters that must be proposed module meets can include:

- maximum load up to 20 kg,
- maximum weight of 40 kg,
- positioning accuracy minimal 0.01 mm,
- torque minimal 18 Nm,
- maximal speed compensation 1 mm/s,
- use of electric drives.

Proposal applications in deployment modules to end effector for robot assembly operations is based on the requirements of motion compensation in the axis perpendicular to the movement of the gripper jaws. If we want to increase the availability of robotic device, it is appropriate to have the possibility of deployment of various types of gripper and technology heads. The arrangement of the individual parts of the proposed gripper is shown in figure 2.

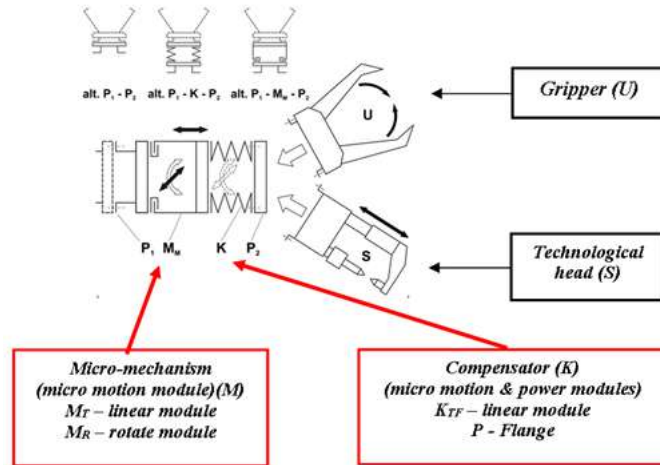


Fig. 1. Intelligent gripper and technological head

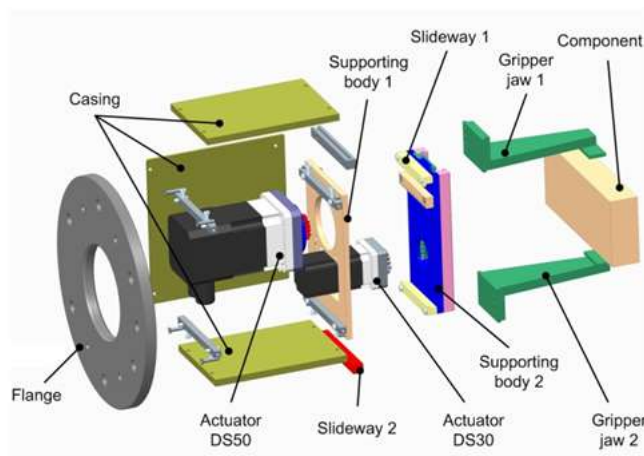


Fig. 2. Arrangement of individual parts gripper

As an example, the joining of two metal components into permanent joints, with the need to achieve a quality finish for their connection. In this case, we can use the exchange system effector allowing a single robot to carry out two operations (e.g. arc welding and grinding of weld, Fig. 3) [2].

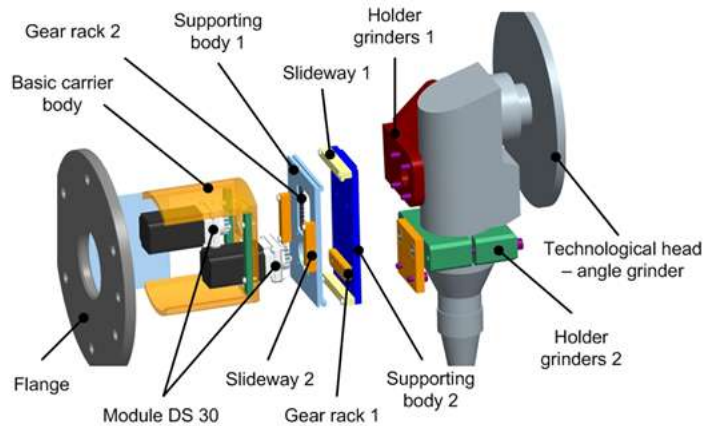


Fig. 3. Modular palletizing – assembly workplace

For these types of operations are requested various conditions on the parameters of the robot. In welding is necessary to allow the robot to carry out an oscillating movement, reaches an average accuracy, while its load capacity may not be large (welding torch has low weight). For grinding load capacity of the robot is an important parameter that depends on the used grinder (belt, angle grinders), shall be the greater accuracy with an oscillating movement can be used but it is not a requirement [3].

The most appropriate way to address this application is the deployment of a robot even with less overall accuracy (of using robots whose parameters of the precision are worse as precision of robot at it becomes operational), the price range is smaller. The compensation the lower the accuracy of the robot can be realized by deploying intelligent compensatory heads to move the axes X, Y (or Z) would enable this disadvantage to suppress [4].

This way of solving the precise movements of the robot in space, especially for achieving accurate final coordinates can be applied in various industries, to solve various technological operations (milling, drilling, thread cutting, polishing, etc.).

Connection diagram of intelligent end effectors. The scheme of wiring of sensor technology for robot end effector based on the involvement of the DC motor (actuator) gearbox for a servo inverter, as well as the connection of external sensors, making it possible to increase the intelligence of the drive module effector. Between the sensors that increases the intelligence of end-effectors, we include: The torque sensor (force), temperature sensor, acceleration sensor, microphone, counter rotation of direction, voltage and current sensor. Proposed wiring diagram is shown in Fig. 4.

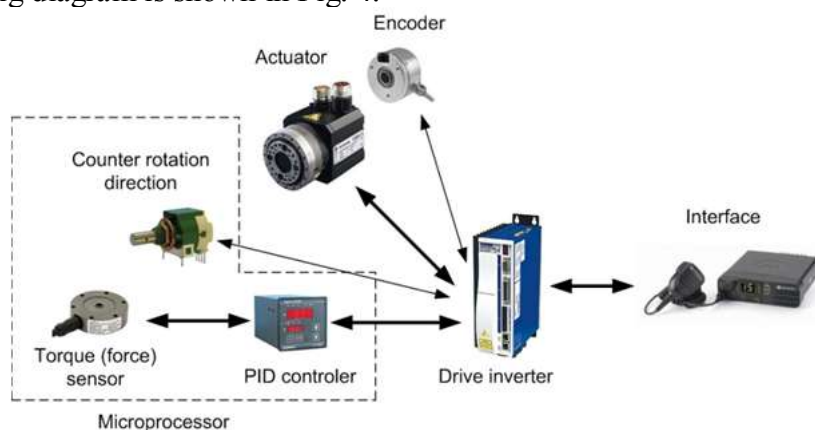


Fig. 4. Connection diagram

Example of location of the sensors to the drive module DS 50 end effector, layout display the various sensors, the individual sensors are placed either directly on the actuator or a servo inverter, (Fig. 5).

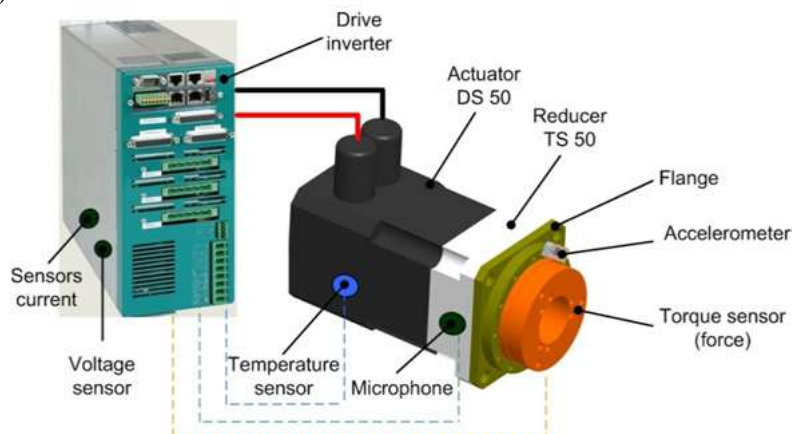


Fig. 5. Location sensors

For applications aimed at positioning (precise positioning parts), it is appropriate to use sensors, allowing to follow the torque values. In the case of exceeding the limit values leads to interruption of work in workplace or control system allows to compensation speeding values torque moment (Application: screwdriving).

In applications where there is a pressing, or assembled parts with zero tolerance is appropriate to add to the end effector force sensor that enables capture to axial forces. After

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

exceeding the limit value is used to stop the movement of the device, or sending information to control system that compensates, for example: Move the axes X and Y (micro-movements).

For applications where there is action in two directions, for example: grinding, sensing equipment can monitor not only the movement in the axial as well as radial direction. In case of using sprung technological head - grinding to fine correction to achieve the desired quality of cut surface.

Conclusion. The deployment of suitable sensor technology can be achieved by increasing the accuracy of the resulting end-effectors of industrial robots. Use of micro-effector mechanism allows you to use less precisely the types of robots or robots in a smaller number of kinematic pairs. That solution, end effectors for manipulating objects, as well as for grinding has been experimentally verified on a pair of robots Kuka VKR 125.

This publication is the result of the project implementation: Research modules for intelligent robotic systems (ITMS: 26220220141) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF.

References

1. Hajduk, M., et al.: Robotické bunky. In: 1. vyd - Košice: TU, SJF - 2008. - 84 s.
2. Semjon, J.: Analysis of rotary units used in end effectors for industrial robots. In: Global management and economics. Vol. 2015, no. 1 (2015), p. 117-120.
3. Semjon, J., Vagaš, M., Baláž, V: Static analysis of rotary positioning modules for technological head of the robot. In: Advances in Robot Design and Intelligent Control. - Zurich: Springer International Publishing, 2015 P. 277-285.
4. Semjon, J., et al.: FEM analysis of the modules bodies for building of the robots technological heads. In: Applied Computer Science. Vol. 10, no. 4 (2014), p. 34-45.

Jan Semjon – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ян Семйон – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ян Семйон – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: jan.semjon@tuke.sk

Scopus Author ID: 55571411200

Marek Vagas – Eng. Ph.D., scientific researcher, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Вагаш – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Вагаш – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.vagas@tuke.sk

Scopus Author ID: 55014596100

Google Scholar link: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=zQLHOh4AAAAJ>

Vladimir Balaz – Eng. Ph.D., scientific researcher, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Владімір Балаз – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Владімір Балаз – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: vladimir.balaz@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016664100

UDC (07)621.7:621.8

Marek Sukop, Jozef Varga, Rudolf Janos, Michal Spak, Ondrej Jurus

POOR OPTICAL SENSOR FOR MOBILE ROBOTS IN EDUCATION

Marek Sukop, Jozef Varga, Rudolf Janos, Michal Spak, Ondrej Jurus

СЛАБКИЙ ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ДЛЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Marek Sukop, Jozef Varga, Rudolf Janos, Michal Spak, Ondrej Jurus

СЛАБЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

The article is about how to create poor sensor like radar for obstacles detection. At first, there is description of concept arrangement of the individual parts. The picture shows that the measuring head is mounted on classical modeling actuator. There is necessary to use three sensors which are implemented to sonar for good coverage mobile robot workspace. The following figure shows how sonar detection range looks. In this part is mentioned how to recalculate distance of obstacle

from ADC value. If the ADC is a 10-bit value of the converter, then the final result is: $d = 60,632 \left(\frac{adc \times 5}{1024} \right)^{-1,113}$

Real measurement is approximately 2% different like measurement with sensors but it is still enough for application. In the end of article is mentioned how to implement sonar into mobile robot by Arduino module. Conclusion deals with possibilities of communication Arduino board with superior control system through USART, I2C, SPI, TWI or some parallel interface 8 or 16 bit which can be implemented by separate code and it deals with improving all system in the future.

This contribution is the result of the project implementation: KEGA – 059TUKE-4/2014 "Rozvoj kvality života, tvorivosti a motoriky hendikepovaných a starších osôb s podporou robotických zariadení", supported by the Research & Development operational Program funded by the ERDF.

Key words: mobile robot, sonar, sensor.

Fig. 3. Bibl.: 3.

Розглянуто спосіб споруди слабкого датчика радара для виявлення перешкод, дано опис принципової схеми розташування окремих частин. На малюнку показано, що вимірювальна головка встановлена на класичному приводі моделювання. Обґрунтовано необхідність використання трьох датчиків, які вмонтовані в ультразвуковий локатор для гарного покриття робочого простору мобільного робота. На наступному малюнку показано, як виглядає діапазон виявлення ультразвукового локатора. У цій частині згадується, як перераховувати відстань від перешкоди зна-

чення АЦП. Якщо АЦП є 10-бітове значення перетворювача, то кінцевий результат буде: $d = 60,632 \left(\frac{adc \times 5}{1024} \right)^{-1,113}$

Реальний вимір відрізняється на близько 2%, як вимірювання з датчиками, але все ще досить для застосування. У висновку статті згадується як впровадити ультразвуковий локатор в мобільного робота за допомогою модуля Arduino, можливості зв'язку Arduino плати з вищестоящою системою управління через USART, I2C, SPI, TWI або через паралельний інтерфейс 8 або 16 біт, який може бути здійснений у вигляді окремого коду, що стосується вдосконалення всієї системи в будувачем. Цей внесок є результатом реалізації проекту: Kega - 059TUKE-4/2014 "Rozvoj kvality života, tvorivosti motoriky hendikepovaných starších кількість осіб з podporou robotických zariadení", за підтримки оперативної програми наукових досліджень і розвитку, що фінансується ЕФРР.

Ключові слова: мобільний робот, ультразвуковий локатор, датчик.

Рис.: 3. Бібл.: 3.

Рассмотрен способ сооружения слабого датчика радара для обнаружения препятствий, дается описание принципиальной схемы расположения отдельных частей. На рисунке показано, что измерительная головка установлена на классическом приводе моделирования. Обоснована необходимость использования трех датчиков, которые встроены в ультразвуковой локатор для хорошего покрытия рабочего пространства мобильного робота. На следующем рисунке показано, как выглядит диапазон обнаружения ультразвукового локатора. В этой части упоминается, как пересчитывать расстояние от препятствия значения АЦП. Если АЦП является 10-битное значение пре-

образователя, то конечный результат будет: $d = 60,632 \left(\frac{adc \times 5}{1024} \right)^{-1,113}$

Реальное измерение отличается на около 2%, как измерение с датчиками, но все еще достаточно для применения. В заключении статьи упоминается как внедрить ультразвуковой локатор в мобильного робота с помощью модуля Arduino, возможности связи Arduino платы с вышестоящей системой управления через USART, I2C, SPI, TWI или через параллельный интерфейс 8 или 16 бит, который может быть осуществлен в виде отдельного кода, что касается совершенствования всей системы в будувачем. Этот вклад является результатом реализации проекта: Kega - 059TUKE-4/2014 "Rozvoj kvality života, tvorivosti motoriky hendikepovaných starších количество человек с родрогои robotických zariadení", при поддержке оперативной программы научных исследований и развития, финансируемой ЕФРР.

Ключевые слова: мобильный робот, ультразвуковой локатор, датчик.

Рис.: 3. Библ.: 3.

Introduction. Nowadays, for applications in robotics are accessible lots of sensors or sonars on optical or ultrasonic basis. These can monitor the space and provide information about objects in this area. Robot is able to make some navigation map and to complement it during robot's movement. This article is a description of how to create your own simple sonar, and its price will move in tens of euros and device is suitable for testing applications with robots in education. There is possibility to make simple sonar from three infrared sensors.

The concept of the arrangement of the individual parts. Angular measurement range especially for mobile robots should be at least 180 degrees. Therefore, the proposal is based on the use of three infrared sensor that is skewed 90 degree. If the system will rotate in the range of 90 degrees. Then it is possible to achieve capture 270 degrees around the robot. After the addition of a fourth sensor device would be able to capture the entire space around the robot. The rotation is achieved in both directions, e.g. +/- 90 degrees, Due to the combination of sensors with the control unit, which is static. It is possible to use a separate power supply and RF transmission. Then the sonar could rotate around and the response time were constant at any point. The arrangement of the sensor is in Fig. 1.

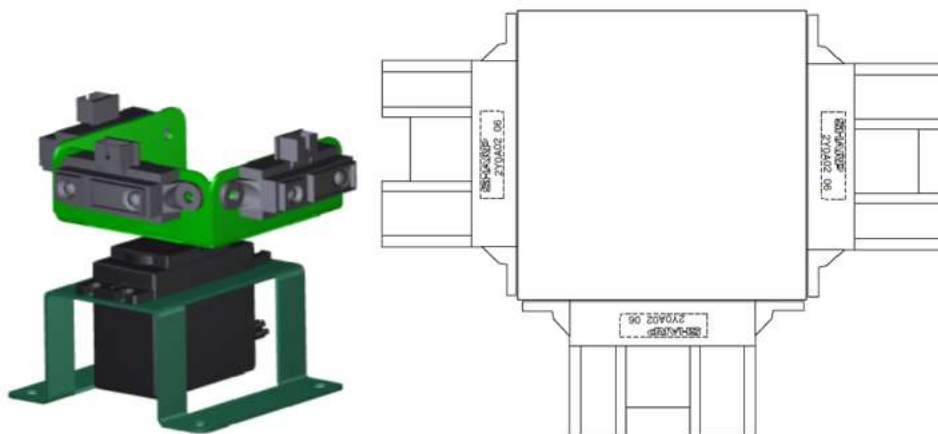


Fig. 1. Sensors arrangement (left-3D model, right-view from above)

The picture shows that the measuring head is mounted on classical modeling actuator. There is necessary to use three sensors which are implemented to sonar for good coverage mobile robot workspace. From its speed and accuracy depend on characteristics of sonar. The following figure (Fig. 2) shows how sonar detection range looks.

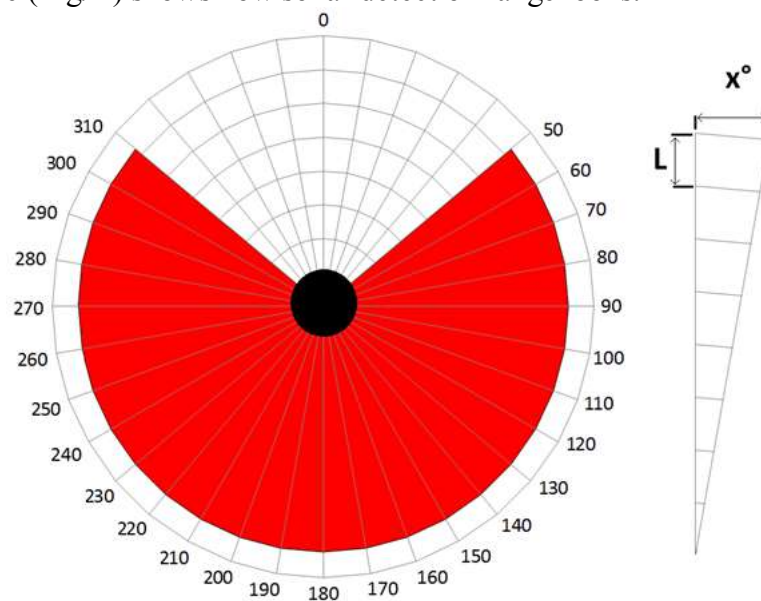


Fig. 2. Sonar detection range

The red color represents the scanned angle which is sufficient for application. The sequence of sampling is 10 degrees, and the values are written to the table. A good shoulder radar eliminates the possibility of collision between the situated of the obstacles which may occur in close proximity to the robot. The black color is displayed problematic area sensing obstacles. At the same time graphically it displays one of his segment, where x° is the angular value of an area equal to 10 degrees, and the letter L is defined dimensional characteristics, which is equal to about 22 cm and the individual segments comprises the fair value of unit length. L is the number of divisions 7.3 and length of the interval is 22 cm, this means $7.3 \times 22 = 160.6$ cm which is the real maximum value of the sensing sensor sharp2Y0A02.

Distance from obstacles, so is the value of d can be calculated:

$$d = 60,632 \times U^{-1,113}, \quad (1)$$

where U is the voltage value.

If the ADC is a 10-bit value of the converter, then the final result is:

$$d = 60,632 \left(\frac{adc \times 5}{1024} \right)^{-1,113} \quad (2)$$

Real measurement is approximately 2% different like measurement with sensors but it is still enough for application.

The sonar implementation into mobile robot

The sonar rotation is produced by servo which is supplied by 5V from Arduino board (Fig. 3).

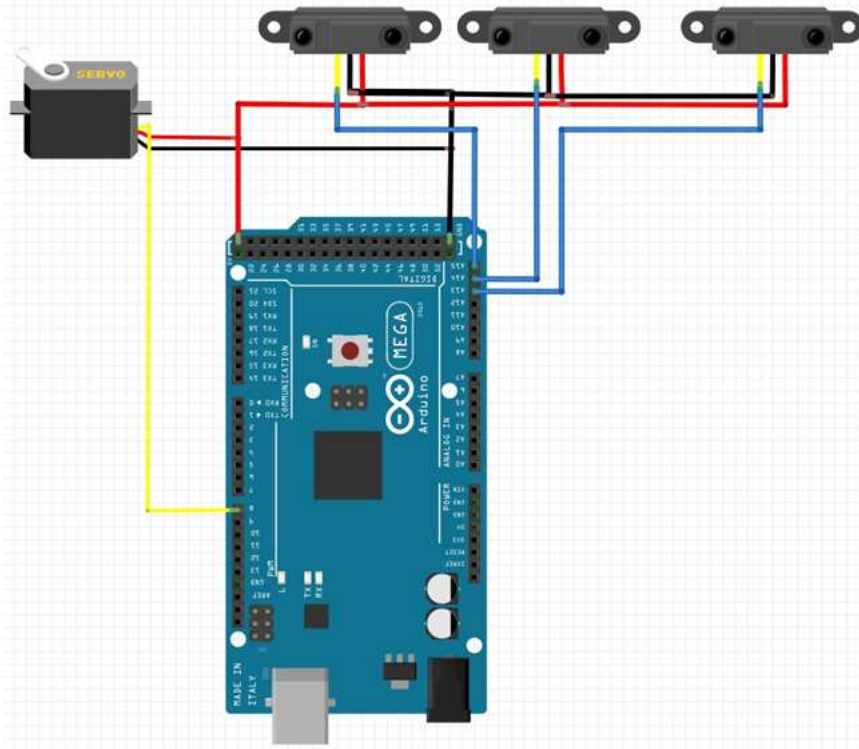


Fig. 3. Wiring of sensors and servo

There is no necessary separate power supply because current consumption of servo is small. Rotation of sonar is implemented by PWM output from Arduino.

Conclusion. Those designed sonar can be used alone and Arduino board can communicate with superior control system through USART, I2C, SPI, TWI or some parallel interface 8 or 16 bit which can be implemented by separate code. Second option is using Arduino board as main control system for robot because it has many I/O pins. This option is more difficult because there are many problems to handle code separate for robot and sonar.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Designed sonar is very simple and cheap but it is very good for education in robotics mainly in navigation of mobile robots. In the future work we will try to make some model of robot workspace with the help of this sonar and will navigate robot by optimal path.

This contribution is the result of the project implementation: KEGA – 059TUKE-4/2014 “Rozvoj kvalityživota, tvorivosti a motorikyhendikepovaných a staršíchosób s podporourobotickýchzariadení”, supported by the Research & Development operational Program funded by the ERDF.

References

1. Kačmár P.: *Proposalforcontrol of intelligentservicerobot*.Diplomawork., TU Košice, 2015. 74 p.
2. ARDUINO: Language Reference [online]. Italy, 2014, [cit.2014-01-08]. <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>.
3. T. Mikolajczyk, et al.: *Multipurpose Mobile Robot*, AppliedMechanics and Materials, vol. 282, (2013), 152-157.

Marek Sukop – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Суко́п – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Суко́п – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.sukop@tuke.sk

Scopus Author ID: 36615762200

Google Scholar link: <https://scholar.google.sk/citations?user=xw4udLwAAAAJ&hl=sk>

Jozef Varga – Eng, Ph.D, Reaserch worker, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозе́ф Варґа – Eng, Ph.D, Reaserch worker, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозе́ф Варґа – Eng, Ph.D, Reaserch worker, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: jozef.varga.2@tuke.sk

Scopus Author ID: 56268363400

Rudolf Janos – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ру́дольф Яно́ш – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Ру́дольф Яно́ш – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: rudolf.janos@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016528600

Michal Spak – PhD student, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Міха́л Шпа́к – аспірант, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Міха́л Шпа́к – аспирант, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: michal.spak@tuke.sk

Scopus Author ID: 57191838732

Ondrej Jurus – PhD student, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

О́ндрей Ю́руш – аспірант, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

О́ндрей Ю́руш – аспирант, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: onfdrej.jurus@tuke.sk

Google Scholar link: https://scholar.google.sk/citations?view_op=list_works&hl=sk&user=kwnX2mAAAAAJ

UDC (07)621.7:621.8

*Peter Tuleja***WORKING ACCURACY OF INDUSTRIAL ROBOTS AND METHODOLOGY FOR ITS VERIFICATION***Петер Туледжа***ТОЧНІСТЬ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ І МЕТОДОЛОГІЯ ЇХ ПЕРЕВІРКИ***Петер Туледжа***ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ И МЕТОДОЛОГИЯ ИХ ПРОВЕРКИ**

Article for short describes the importance and method of verifying the working accuracy of the applying the methodology in accordance with valid international standards. It also describes a method for obtaining of the necessary data to verify of one-way accuracy and repeatability of positioning of selected industrial robot.

Key words: industrial robot, working accuracy, verification.

Fig.: 6. Tab.: 3. Bibl.: 3.

Коротко описано важливість і спосіб перевірки робочої точності застосування методології відповідно до діючих міжнародних стандартів. Також досліджено спосіб отримання необхідних даних для перевірки односторонньої точності і повторюваності позиювання обраного промислового робота.

Ключові слова: промисловий робот, точність обробки, перевірка.

Рис.: 6. Табл.: 3. Бібл.: 3.

Кратко описана важность и способ проверки рабочей точности применения методологии в соответствии с действующими международными стандартами. Также исследован способ получения необходимых данных для проверки односторонней точности и повторяемости позиционирования выбранного промышленного робота.

Ключевые слова: промышленный робот, точность обработки, проверка.

Рис.: 6. Табл.: 3. Библ.: 3.

Introduction. The deployment of industrial robots in various fields of industrial production is confronted with the hard conditions imposed on their work accuracy. It's mainly due to the fact that most of the operations executed by the robot falls in precision technology.

For a description and analysis of applications with robots can be used an approach assessing bonds of functional relations of kinematics (load, precision, speed, ...), its parameters and parametric characters that together determine the usability of the robot for the forthcoming application. This approach is one of the basic steps to project preparation of robot applications for the specific production and non-production processes.

Characteristic of robot. In robotics were for the classification of the robots created the general classification systemic characters that categorize the robots when it comes on:

- their load, Tab. 1,
- from the standpoint of achieving the repeated positioning accuracy, Tab. 2,
- in terms of classification their zones of operation (volume of space accessible to the robot end effector), Fig. 1.

Table 1

Classification of robots in accordance of load (max. load)

Category	Labeling	Load [kg]		
		Minimum	The middle	Maximum
Very heavy	G	300	1 000	3 000
Heavy	T	30	100	300
Middle	S	3	10	30
Easy	L	0,3	1	3
Very easy	M	0,03	0,1	0,3

Table 2

Classification of robots by unidirectional accuracy of positions

The class	Category	Range [mm]
0	ultra accurate	(±0,001 ; ±0,01)
I.	very accurate	(±0,01 ; ±0,1)
II.	with increased accuracy	(±0,1 ; ±0,5)
III.	with normal accuracy	(±0,5 ; ±1)
IV.	with low accuracy	> ±1

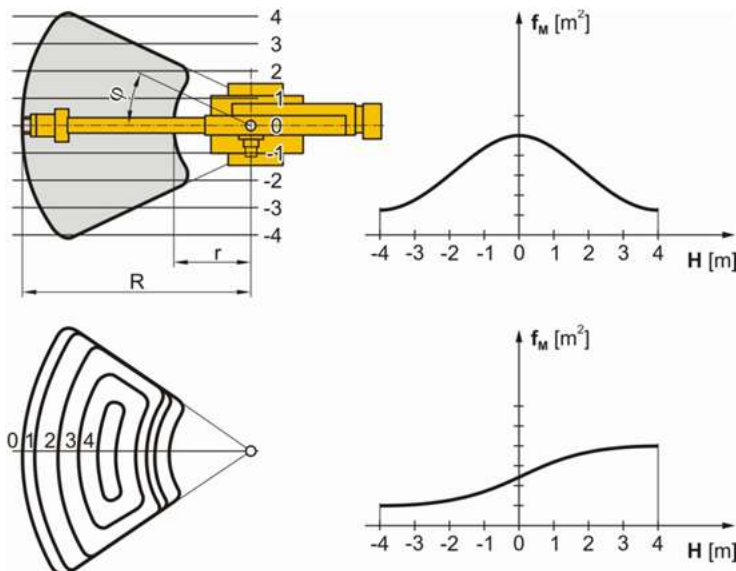


Fig. 1. Zones of the robot service

Sources of errors. The physical implementation of the mechanism of the robot assumes that each of the kinematic pair comprises a number of mechanical parts, Figure 2, showing a certain type of binding necessary with a tolerance (a given of design) and manufacturing tolerances (tolerances dimensions, pairing).

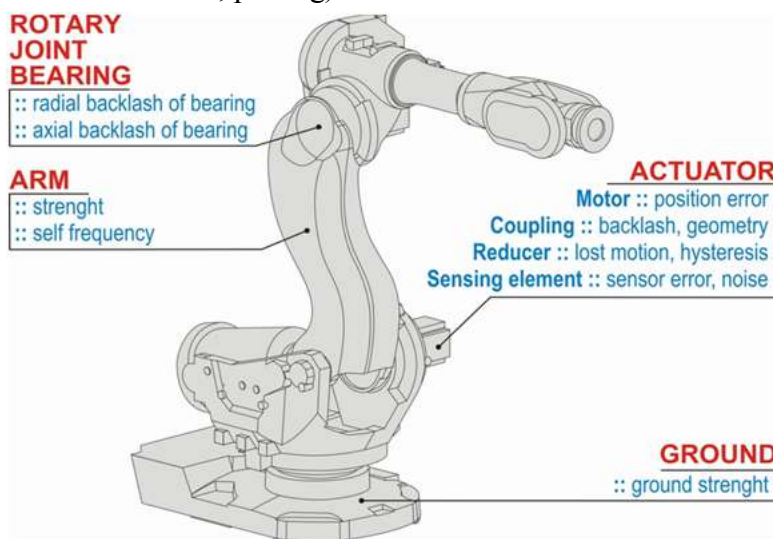


Fig. 2. Sources of errors in kinematics of robot

All these deviations and backlashes are added together and result in a member of kinematic pair performs movements (strokes, rotation), whose range and accuracy are noted these errors ((backlashes). The actual movement is a little (less accurate) than programmed, causing the moving part of the mechanism of the drive system (engine) is spent to compensate for these clearances.

According to their origin backlashes in locomotive organs of kinematic pair of the robot can distinguish on

a) **the basic backlashes** v_Z - a given of construction documentation and an accuracy of production (production outside the tolerances specified of construction documentation is not permitted), which shows a pair mechanism after assembling and commissioning,

b) **backlashes from wear** v_O - a given of traffic loading effect of robot and share of operation time of kinematic pairs at the time of operation of the robot.

The total clearance of the action mechanism of the robot, respectively. mechanism of kinematic pairs of the robot is generally given as

$$v_C = v_Z + v_O = n \cdot v_Z \quad (1)$$

where n is a factor whose size is proportional to the length of time of operation (use) of kinematic pairs. Total backlash v_c results in an error Δ when positioning to the coordinate one single motion unit (kinematic pairs) of the action mechanism of the robot.

When a general motion of action mechanism of the robot are a movement made up of program-arranged move his of motion units (each kinematic pairs), each unit brings to the overall movement of his own error. Subsequently, the resulting error of the action mechanism of the robot Δ_C is given by the sum of the geometric errors of individual coordinates ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$)

$$\vec{\Delta}_C = \vec{\Delta}_1 + \vec{\Delta}_2 + \vec{\Delta}_3 \quad (2)$$

The criterion for working accuracy of the action mechanism of robot is that the total error $\vec{\Delta}_C$ does not exceed the tolerance (determined) the inaccuracy of positioning (position, orientation)

$$\vec{\Delta}_C < \vec{\Delta}_{C\text{dov}} \quad (3)$$

As an example of the determination of the resulting lists inaccuracies the interpretation of the general principles of the theory of robot mechanisms into the mechanisms of RTT type (cylindrical system), Figure 3.

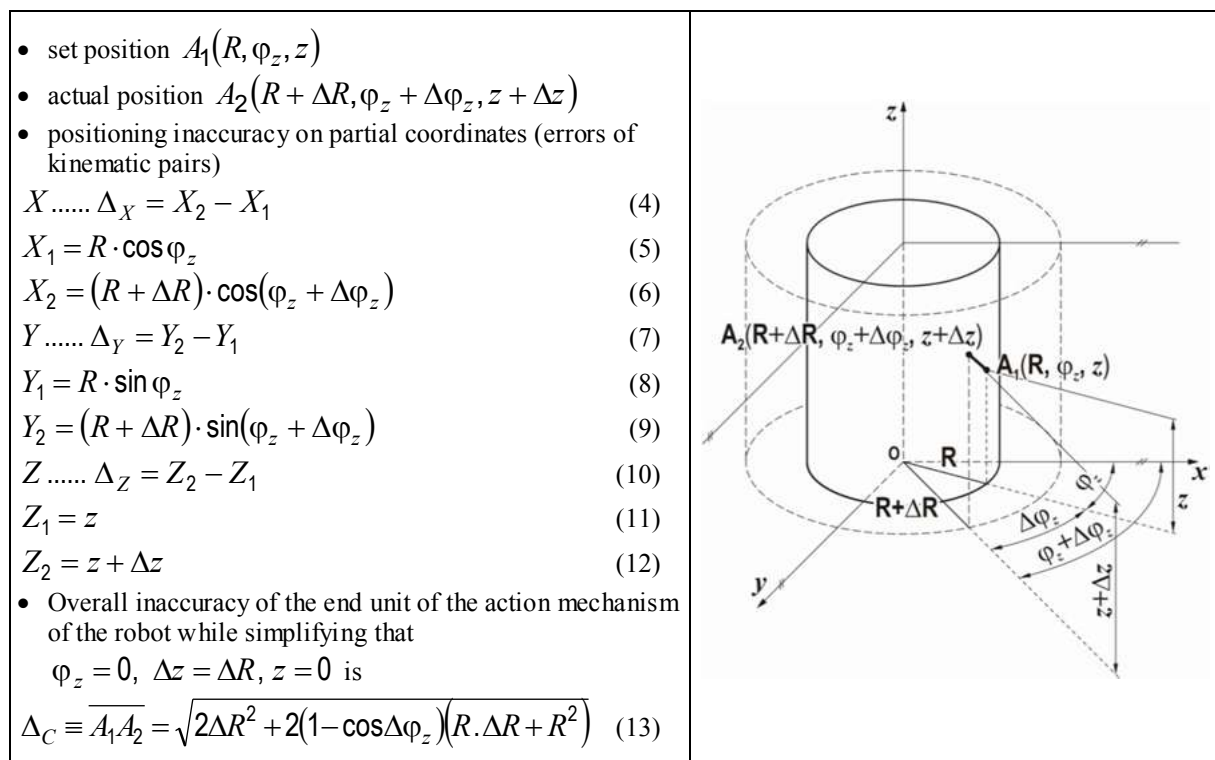


Fig. 3. Position errors in the area of the cylindrical coordinate system

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

As the accumulation of deviations (errors) must be controlled, it is necessary to determine the robot purchaser of the total value of these errors. It is necessary to establish a working robot accuracy.

Working precision of robot. Working precision of industrial robot is defined by ISO 9283 as a set of characteristics, tab. 3, the most important are: one-way precision positioning (orientation) and the unidirectional repeatability of position (orientation). One-way positioning accuracy of show the deviations between the programmed position and diameter of the current position when moving to a preset position from the same direction. Unidirectional repeatability position reflects the degree of correlation between the position and orientation of the current position by n-repetitive movements programmed in the same position in the same direction.

Table 3

Characteristics of robot for definition it's working accuracy

CHARACTERISTIC	LOADING (% of nominal value)		SPEED (% of nominal value)			POSITIONS (on measuring plane)	NUMBER OF CYCLES
	50	100	10	50	100		
1. One direction accuracy of position (AP)	●	●	●	●	●	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅	30
2. One direction repetition of position (RP)	●	●	●	●	●	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅	30
3. Variation of multi-direction accuracy of position (vAP)	●	●	●	●	●	P ₁ -P ₂ -P ₄	30
4. Accuracy of distance (AD)	○	●	●	●	●	P ₂ -P ₄	30
5. Repetition of distance (RD)	○	●	●	●	●	P ₂ -P ₄	30
6. Time of position stabilization	●	●	●	●	●	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅	3
7. Overshoot of position	●	●	●	●	●	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅	3
8. Drift of accuracy the position (dAP)	○	●	○	○	●	P ₁	*)
9. Drift of repetition the position (dRP)	○	●	○	○	●	P ₁	*)
10. Accuracy of trajectory (AT)	●	●	●	●	●	**)	10
11. Repetition of trajectory (RT)	●	●	●	●	●	**)	10
12. Error of crown radius (CR)	○	●	●	●	●	E ₁ -E ₂ -E ₃ -E ₄	3
13. Crown overshoot (CO)	○	●	●	●	●	E ₁ -E ₂ -E ₃ -E ₄	3
14. Stabilization of path lenght (SPL)	○	●	●	●	●	E ₁ -E ₂ -E ₃ -E ₄	3
15. Accuracy of trajectory velocity (AV)	●	●	●	●	●	**)	10
16. Repetition of trajectory velocity (RV)	●	●	●	●	●	**)	10
17. Fluctuation of trajectory velocity (FV)	●	●	●	●	●	**)	10
18. Minimal time of positioning	●	●	○	●	●	P ₁ -...-P _m ***)	3
19. Static flexibility	****)	--	--	--	--	P ₁	3

Key: ● - obligatory *) - 8 hours of continuous cycling
 ● - optional **) - linear path between points E₁-E₃ and E₃-E₁
 ○ - free ***) - details in standard text
 ****) - 10% progressive increase in value of load from 10% until 100%

For the manufacturer is therefore the customer's responsibility to give reliable information about this parameter. Conversely, the customer (or design firm) must meet the requirements of the application to know the value of working accuracy.

In order for producers were to construct mechanical part of the robot and its control system must have an idea on how to reach that target, but also re-measured and thus validate data then provides the customer.

To harmonize the measurement results generated in verifying the working accuracy of the robot at the manufacturer and at the user must be a binding methodology for carrying out the tests, which are intended to determine the parameters that characterize the working accuracy.

For this reason (and in connection with the project solution) we at the Department drawn up a set of methodological sheets for conducting the tests of the robot (for structural design robots with serial architecture arrangement kinematic pairs: RRR and SCARA). Credibility of results obtained under prescribed methodology is guaranteed by incorporating the principles established in the ISO 9283 in these procedures and the subsequent verification of the measurement of a particular robot (industrial robot ALMEGA AX-MV6 the company OTC Daihen, Japan).

Order to be able perform a set of measurements specified of standards (tab. 3), be followed a few basic rules:

- Record the measurement conditions (parameters of used energy labeling and specifications of tested robot, set the operating speed of robot, load value of the end flanges, parameters characterizing the working environment: temperature, relative humidity atmospheric pressure);

- Determine the dimensions so called "measuring cube", Fig. 4, and the coordinates of its location in the robot workspace, Fig. 5;

- Determine the coordinates of the points in which the measurement is running (or points between which is measure any parameter);

- Compile a list of the measurement means with its characteristic parameters;

- Establish a set of measured parameters of robot by choosing from a list of declared the norm, see Table 3;

- By the list of existing measurement methodological order make of measurement protocol in the number and the content corresponding to the selecting set of measured parameters (as above);

- Pursuant to the rules and recommendations in methodical sheets measure the required number of data needed for statistical evaluation and record the measured values (minimum of 30 measurements);

- According to the mathematical recommended of standards and in methodical sheets set the final value of the measured parameter and record it for every point of measure (or process in tabular form);

- In the processed measuring protocol mention a verbal comments of measurements;

- summarized the set of sub-protocols in the final version of the measurement protocol with the dates, persons performing the measurement and evaluation of measured results in accordance with applicable internal rules of the tests executor.

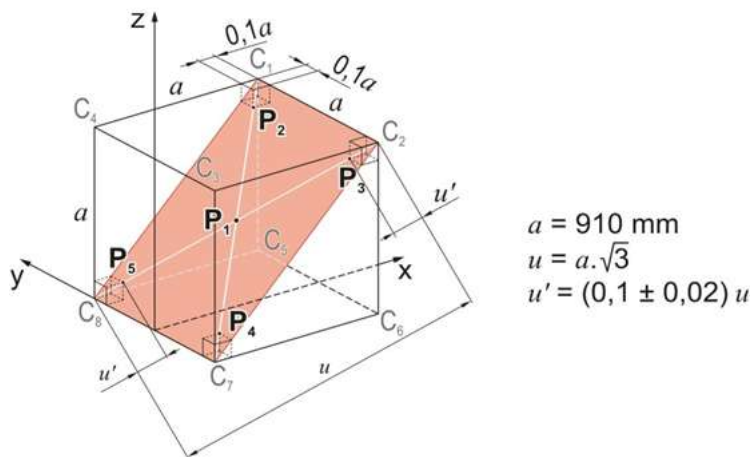


Fig. 4. Testing cube

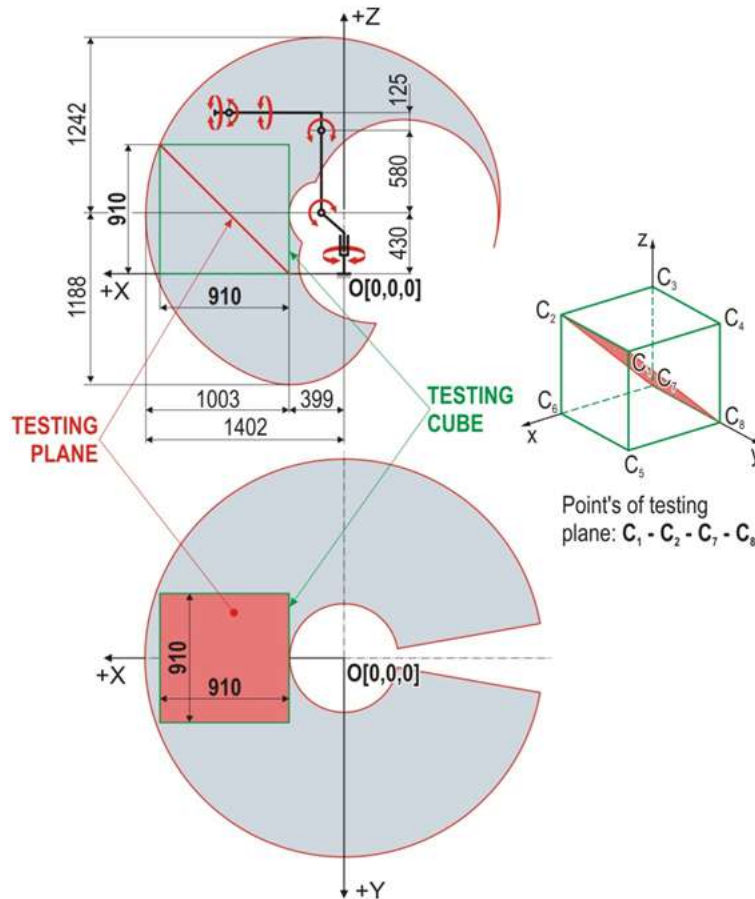


Fig. 5. Localization of testing cube in robot's working space

Conclusion. The described procedure was carried out at our department within the measurement of said of industrial robot (OTC Daihen ALMEGA AX-MV6) as a secondary exit activities during solutions to project tasks. Methodological sheets for measuring characteristics of the robot were then used to create a methodology for measuring 3° wrist as the output project tasks Figure 6.

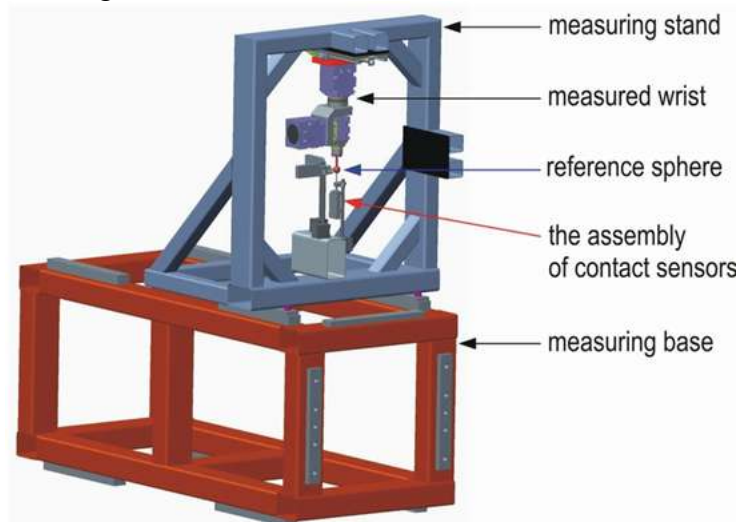


Fig. 6. Model for measuring of 3° wrist

This contribution is the result of the project implementation: Research modules for intelligent robotic systems (ITMS: 26220220141) supported by the Research & Development operational Program funded by the ERDF.

References

1. Tuleja, Peter: Identifikácia overovacích parametrov robotov s kinematikou typu SCARA. Doktorandská dizertačná práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2009, 105 s.
2. STN ISO 9283:1990, Manipulačné priemyselné roboty - Pracovné charakteristiky a zodpovedajúce skúšobné metódy.
3. STN ISO 9946:1991, Manipulačné priemyselné roboty – Prezentácia charakteristík.

Tuleja Peter – Eng., PhD, Assistant Professor, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Петер Туледжа – Eng., PhD, Assistant Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Петер Туледжа – Eng., PhD, Assistant Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: peter.tuleja@tuke.sk

Scopus Author ID: 55570858300

Marek Vagas, Vladimir Balaz, Jan Semjon, Jozef Putala

METHODOLOGICAL PROCESS FOR CREATION OF PALLETIZING – ASSEMBLY WORKPLACE

Маре́к Вага́ш, Влади́мир Балаз, Ян Семйон, Йозе́ф Пугала

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СТВОРЕННЯ ПАКЕТУВАННЯ – МОНТАЖ НА ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕННІ

Маре́к Вага́ш, Влади́мир Балаз, Ян Семйон, Йозе́ф Пугала

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ПАКЕТИРОВАНИЯ – МОНТАЖ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

Methodological process for creation of palletizing – assembly process with industrial robot using is the main idea of this article. It is important to define basic structure of the palletizing - assembly workplace with deployment of industrial robot, motion sequences methodologies for building of palletizing - assembly workplace based on the modular principle in order to create various structures such workplaces. In order to achieve a high degree of autonomy, this article is based on findings modularity of basic building blocks these workplaces.

Key words: *methodological process, assembly objects, modular, design.*

Fig.: 6. Bibl.: 9.

Основною ідеєю цієї роботи є методологічний процес створення пакування – процес складання з використанням промислового робота. Важливо визначити основну структуру пакування – монтаж на робочому місці з розгортанням промислового робота, руху послідовностей методології побудови пакування – робочого місця для збірки на основі модульного принципу для створення різних структур таких робочих місць. Для досягнення високого ступеня автономії, ця стаття заснована на результатах модульності основних будівельних блоків таких робочих місць.

Ключові слова: *методологічний процес, складальні об'єкти, модульний, дизайн.*

Рис.: 6. Бібл.: 9.

Основной идеей данной работы является методологический процесс создания пакетирования – процесс сборки с использованием промышленного робота. Важно определить основную структуру пакетирования – монтаж на рабочем месте с развертыванием промышленного робота, движения последовательностей методологии построения пакетирования – рабочего места для сборки на основе модульного принципа для создания различных структур таких рабочих мест. Для достижения высокой степени автономии, эта статья основана на результатах модульности основных строительных блоков данных рабочих мест.

Ключевые слова: *методологический процесс, сборочные объекты, модульный, дизайн.*

Рис.: 6. Библ.: 9.

Introduction. Palletizing – assembly workplace consists of a pallet conveyor, assembly objects, and robot. The robot approached positions that control program based on parameters derived from assembly object properties and sensory systems used in palletising is calculated in advance. For monitoring the whole process is necessary to use complex sensory systems. Palletized may be different or the same assembly objects, including, in the case of different shapes or different. On that basis is generating algorithms and depend on their complexity [1].

Regards to the variety of assembly objects, assembly operations, and diversity of other factors, the structure of flexible assembly workplaces are highly diverse [2]. The basis for construction is modular units and other equipment including programmable assembly units, robots and manipulators, supply and transport equipment, control units etc.

Palletization methods can be divided into:

– 1D palletization: It is sorting of assembly objects on a pallet in one direction. In this type of robot palletization which uses a simple robot control of one recalculation of coordinates - other coordinates are in each cycle still constant. Palletizing is done by either horizontally or vertically direction.

– 2D palletization: Assembly objects are stored on a pallet in two ways. Two coordinates are changing and the third remain constant. This palletizing is used when we create pattern layout of objects in a single layer.

– 3D palletization: 3D palletizing used also third coordinate for storing assembly objects. It uses a process in which pattern is formed in the 2D palletizing, and then this pattern is repeated in several layers on each other. It may vary in individual layers. In this type of palletization is very into account the stability of objects that are stored on a pallet [3].

In design of palletizing - assembly workplace we start from fact that actual logistics chains, therefore conveying lines are already designed, it means that we know:

- sequence the logistics chain,
- transport time,
- layout of conveyor lines,
- input and output of conveyor lines and their construction.

Block scheme for methodological process for creation of palletizing – assembly workplace can be seen at Fig. 1.

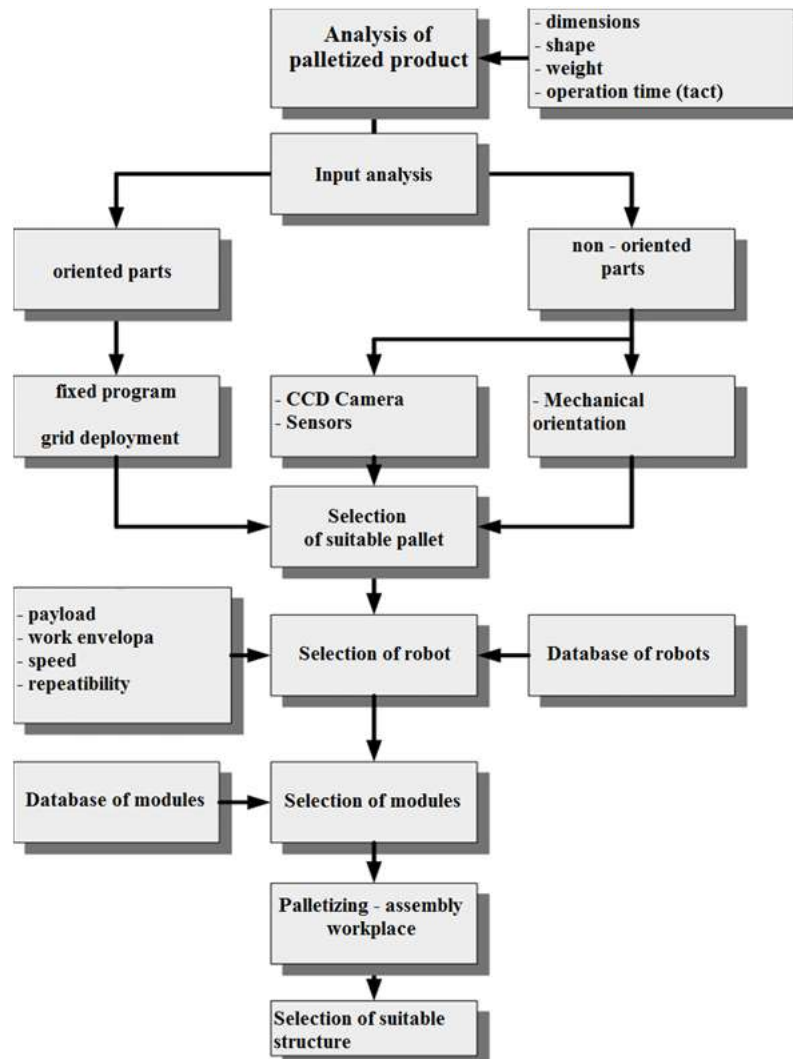


Fig. 1. Block scheme for methodological process for creation of palletizing – assembly workplace

Selection of stored objects on the palette. The most important construction data which are examined in the creation of object base include: geometric shape, size, weight, material, intermediate form etc. For technological data are during analysis of assembly object base most often analysing the type of technological operations and involved work [4]. Model of assembly object base can be determined by production capacity of robotized workplace for:

- individual operations,
- assembly objects,
- workplaces and whole manufacturing system.

When choosing a method for storing of assembly objects to pallet for a variety shape of components it is mainly about their planar arrangement on a support surface of system palette. It is implemented in a way to keep them stabilized (fixated) position during the section of

palletizing - assembly process in which it is necessary to change the orientation of assembly objects or changes its static position [5]. Components should be stored on a pallet in such way so distance between assembly object and pallet was as large as possible and to focus on object was placed in the smallest possible distance from the support surface of palette.

Picture 2 shows the various grid types for regular arrangement of assembly objects on a pallet, at picture 3 shows possible way for variety assembly object storing on a pallet.

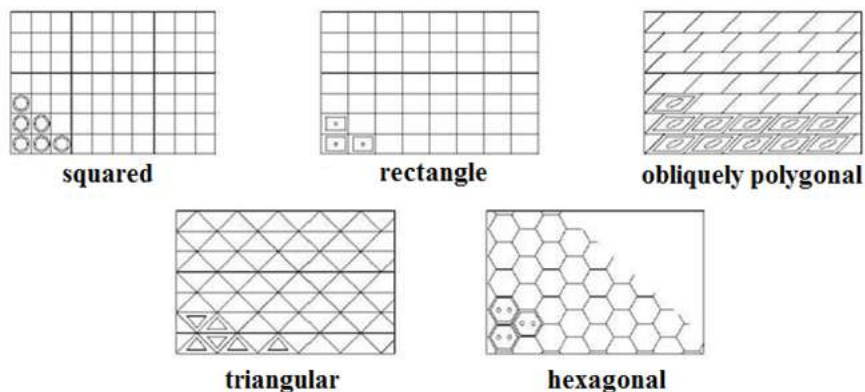


Fig. 2. Grid types

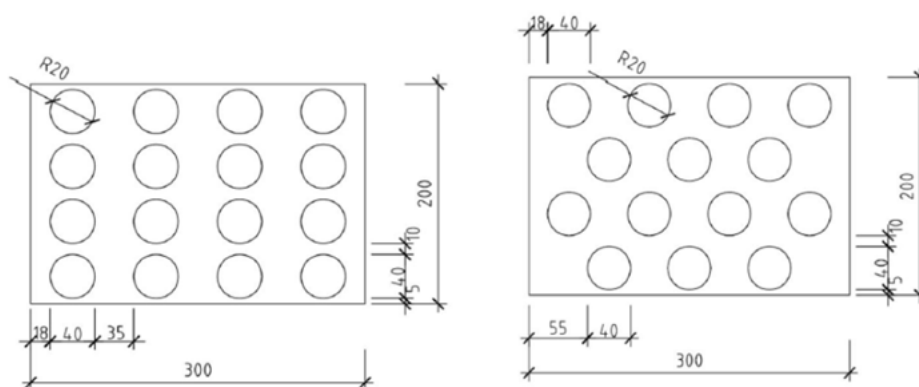


Fig. 3. Possible way for variety assembly objects storing on a pallet

Input of assembly objects. Input of assembly objects to the palletizing - assembly workplace is first step from the series of individual operations, without which palletizing - assembly process was not possible. Assembly objects are basic building components of final product [6]. So, it is necessary to provide a flexible transport system which allows you to input and output to and from the workplace as soon as possible. Components have to be during inputting into workplace required orientation, so, it is necessary to orient them through suited equipment by orientation elements that are placed in lanes of vibratory trays. Picture 4 shows vibratory tray and different paths and slides [7].

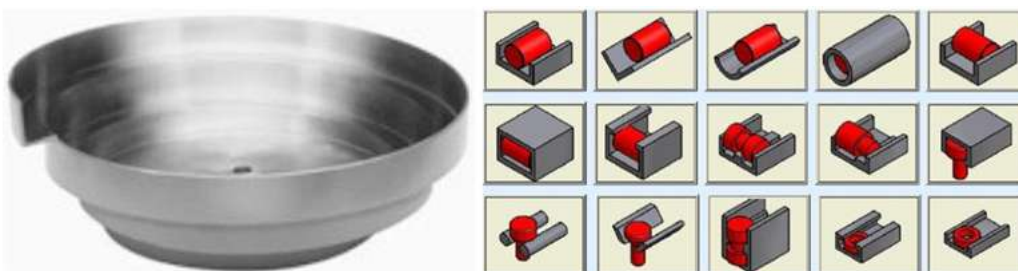


Fig. 4. Vibratory tray with different paths and slides

Selection of an industrial robot. The selection of an industrial robot plays an important role in design process of palletizing – assembly workplace. It results from suitability of

specific types of robots for various applications occurring in the manufacturing process. Picture 5 shows a methodological process for selection of an industrial robot.

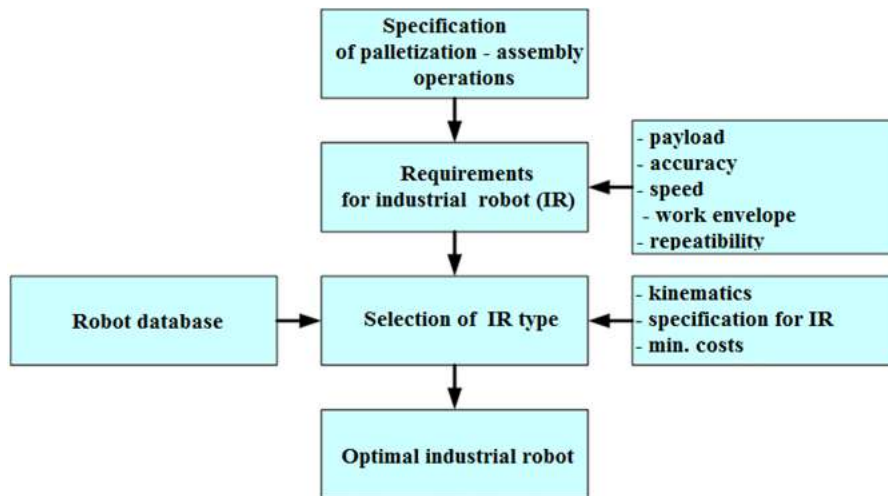


Fig. 5. Methodological process for selection of an industrial robot

For applications in palletizing - assembly process is the most appropriate types of robots SCARA type and linear (Cartesian) types of robots [8].

Selection of gripper. The most widely used effector for robots are gripper's types to securing the grasping of manipulation object, its stable position on movement and the release of next manufacturing operation[9]. From a structural point of view can define from gripper following separate components:

1. Energy source – in choosing the appropriate type of gripper, we must take care that such source of energy for our applications suitable to power him. It is preferable to choose such an energy source which is powered by a robot. E.g. if robot is electric, it is suitable to choose electrically driven gripper.

2. Transmission mechanism of movement – most important requirements for transmission mechanism of movement is requirement to link between distributions of gripper working parts, and it is in case of need to centre for assembly object.

3. Outputs of parts - basic output elements include: interchange ability (fixed and removable), number of jaws.

Picture 6 shows 2, 3 and 4 fingered grippers.



Fig. 6. Grippers regards to type of jaws (fingers)

Conclusion. The aim of this article is to create a methodological process for designing of palletizing – assembly workplace. Article emphasizes to the designer for importance of individual components of workplace. As such, compatibility is one of the factors without which the creation of variant structures not is possible. With increasing degree of automation is also growing demands on the intelligence of palletizing - assembly workplace. The paper shows methodology for designing of palletizing - assembly workplace by using principles of modularity and integrated vision sensor system to the increasing intelligence of such workplaces.

"Paper is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, ITMS: 26220220182, supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF."

References

1. Hajduk, M., Baláž, V.: Palletization with robot OTC Daihen. In: Mašinstrojenijeitechnosfera 21 veka : sborniktrudov 16 meždunarodnojnaučno-techničeskojkonferencii : 14-19 centjabrja 2009 g. v gorodeSevastopole. Tom 4. - Doneck : DNTU, 2009. - 1 elektronický optický disk (CD-ROM).
2. Hajduk, M.: Pružné výrobné bunky. Košice : Vienala, 150 s.
3. Tolnay, M.: Manipulačné a dopravné systémy. 2006. STU. Bratislava. 18 - 22 s.
4. Bryan, a.: Co-evolution of product families and assembly systems, The University of Michigan 2008.
5. Michellini, R., Acaccia, G., Callegari, M., Molfino, R., Razzoli, R.: Computer-Integrated Assembly for Cost Effective Developments, CRC Press LLC/Lewis Publishers, BOCA RATON, USA, 2001.
6. Frei, R., M.: Validation of Requirements for attaining Evolvable Assembly Systems and a preliminary methodology for the modularisation aspects, EPF Lausanne / KTH Stockholm / DU Borlänge, 2005-2006.
7. Mazurek, L., Taranenkov, V.: Holes processing and classification in automated technological process projecting system. In: ActaMechanicaSlovaca. ISSN 1335-2393, 2006, roč. 10, č. 2-A ROBTEP, s. 325-330.
8. Semjon, J.: Využitie princípov modularity a rekonfigurovateľnosti pri stavbe zväracích prípravkov. In: ActaMechanicaSlovaca. - ISSN 1335-2393. - Roč. 12, č. 2-A (2008), s. 561-564.
9. Havlík, Š., Hricko, J.: The RCC mini-gripper for precise assembly. In Modern Machinery Science Journal: 20th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region. - 2011, special edition, p. 128-133.

Marek Vagas – Eng. Ph.D., scientific researcher, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Вага́ш – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Маре́к Вага́ш – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.vagas@tuke.sk

Scopus Author ID: 55014596100

Google Scholar link: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=zQLHOh4AAAAJ>

Vladimir Balaz – Eng. Ph.D., scientific researcher, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Владі́мір Бала́з – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Владі́мір Бала́з – Eng. Ph.D., scientific researcher, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: vladimir.balaz@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016664100

Jan Semjon – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Technical University in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Я́н Семі́юн – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Я́н Семі́юн – Assoc. prof., Eng., Ph.D, Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: jan.semjon@tuke.sk

Scopus Author ID: 7006939310

Putala Jozef – Eng., Company owner, Matador Industries, a. s., General engineering & Automatization, Dubnica n. Vahom, Slovakia (1 Tovarenska Str., 018 41 Dubnica n. Vahom, Slovakia).

Йозе́ф Пу́тала – Eng., Company owner, Matador Industries, a. s., General engineering & Automatization, Dubnica n. Vahom, Slovakia (1 Tovarenska Str., 018 41 Dubnica n. Vahom, Slovakia).

Йозе́ф Пу́тала – Eng., Company owner, Matador Industries, a. s., General engineering & Automatization, Dubnica n. Vahom, Slovakia (1 Tovarenska Str., 018 41 Dubnica n. Vahom, Slovakia).

E-mail: info@matador-group.eu

Scopus Author ID: 57191821320

UDC (07)621.7:621.8

*Jozef Varga, Rudolf Janos, Marek Sukop, Mikulas Hajduk, Peter Duchovic, Martin Bezak***MEASUREMENT OF BEAD WIRE CIRCUMFERENCE VIA OPTICAL SENSOR***Йозеф Варга, Рудольф Янош, Марек Сукоп, Мікулаш Гайдук,
Петер Духовіц, Мартін Безак***ВИМІР ОКРУЖНОСТІ БОРТОВОГО ДРОТУ ЧЕРЕЗ ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК***Йозеф Варга, Рудольф Янош, Марек Сукоп, Мікулаш Гайдук,
Петер Духовіц, Мартін Безак***ИЗМЕРЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ БОРТОВОЙ ПРОВОЛКИ ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК**

In this article is describes how to measure the circumference of the bead wires via optical sensor, which is commonly found in optical mice. The sensors have different resolution in the range from 400 DPI to 5000 DPI. For testing was selected sensor ADNS-2610 with a resolution of 400 DPI.

Key words: bead wire, optical module, lens.

Fig.: 8. Bibl.: 6.

Описано спосіб вимірювання окружності бортових дротів за допомогою оптичного датчика, який зазвичай знаходиться в оптичних мишах. Датчики мають різний дозвіл у діапазоні від 400 до 5000 DPI. Для тестування було обрано датчик ADNS-2610 з роздільною здатністю 400 пікселів на дюйм.

Ключові слова: бортовий дріт, оптичний модуль, об'єктив.

Рис.: 8. Бібл.: 6.

Описан способ измерения окружности бортовых проволок с помощью оптического датчика, который обычно находится в оптических мышах. Датчики имеют различное разрешение в диапазоне от 400 до 5000 DPI. Для тестирования был выбран датчик ADNS-2610 с разрешением 400 пикселей на дюйм.

Ключевые слова: бортовая проволока, оптический модуль, объектив.

Рис.: 8. Библ.: 6.

Introduction. The bead component of the tire is a non-extensible composite loop that anchors the body plies and locks the tire onto the wheel assembly so that it will not slip or



Fig. 1. The bead wire and its placement

rock the rim. The tire bead component includes the steel wire loop, apex or bead filler; the chafer, which protects the wire bead components; the chipper, which protects the lower sidewall; and the flipper, which helps hold the bead in place. The bead wire loop is made from a continuous steel wire covered by rubber and wound around with several continuous loops. The bead filler is made from a very hard rubber compound, which is extruded so as to form a wedge. The bead wire loop and bead filler are assembled on a sophisticated machine.

Bead wire is an essential reinforced material for tires on automobiles, earth-moving equipment, large trucks and aircraft. The bead wire and its placement is shown on Fig. 1.

The basic elements for the construction of an optical module. The construction of the measuring optical module is based on the functional principle of optical mice, which consists from sensor, clip, led and optical lens shown in Fig. 2 [4, 6].

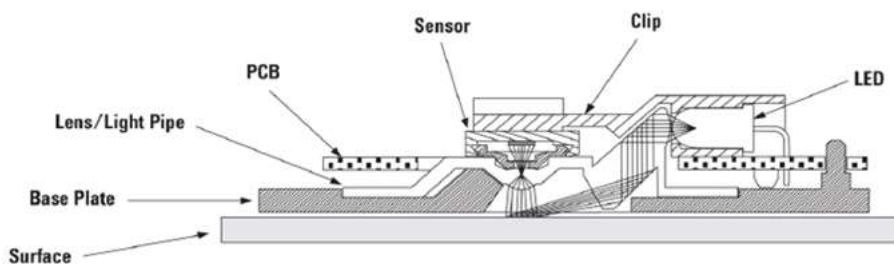


Fig. 2. Functional principle of optical mice.

For the measurement, we selected optical sensor ADNS 2610 with 400 dpi, which is powered to 5V, and a speed of sensing is up to 305 mm/s. Connection of sensor and list of components is shown in the wiring diagram Fig. 3 [4].

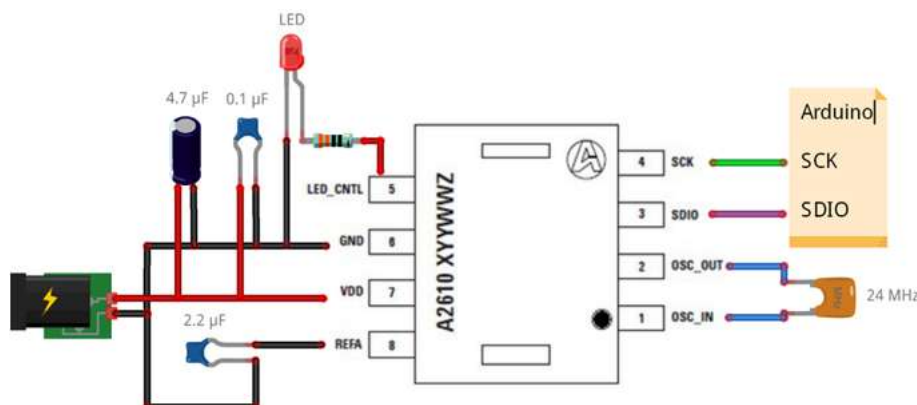


Fig. 3. Wiring diagram for sensor ADNS2610

An important part of the measuring optical module are selection and placement of optical lens that allows you to change the distance of the reference object from the image sensor inside an optical sensor Fig.4 [1, 6].

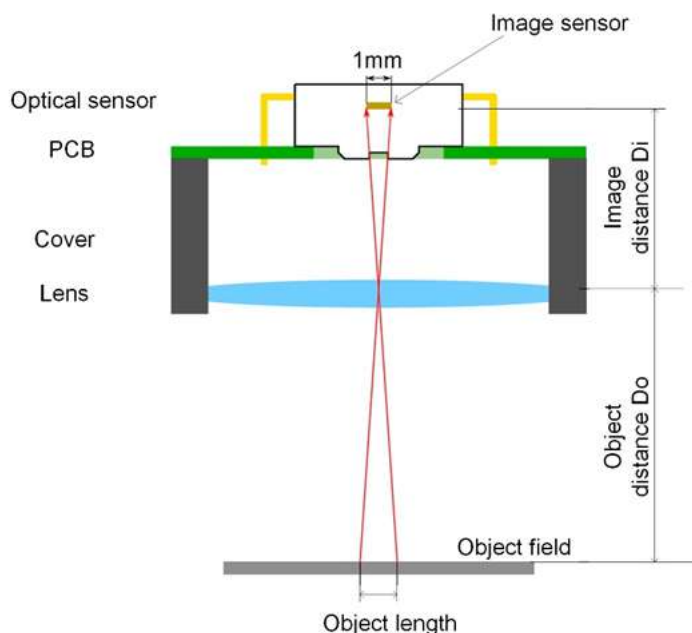


Fig. 4. Proposal of measuring optical module and main parameters

For achieving the clear and sharp image, it is necessary to determine the correct focal length of lens f [2, 3].

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i}, \tag{1}$$

where D_o is object distance and D_i is image distance.

For the selection of appropriate lens were tested three types of lenses with a focal length $f = 2.8$ mm, 3.6 mm and 4.2 mm

Image calibration of optical module. We have created optical module composed of optical sensor ADNS2610, lens and high-bright LED shown in Fig. 5. Led light is important for sufficient lighting scanned surface. In this case was selected red led, can be use blue high-bright led, too.

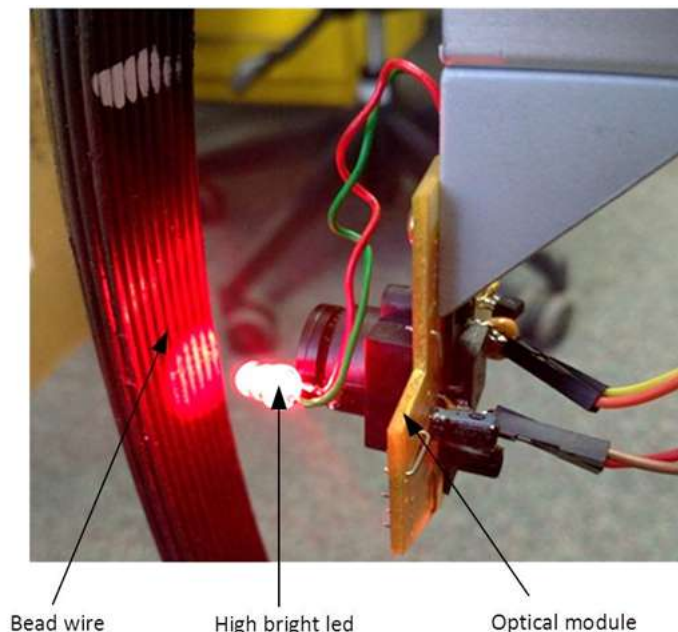


Fig. 5. Optical module

It was subsequently captured bead wire with three kinds of lens - $f = 2.8$ mm, $f = 3.6$ mm, $f = 4.2$ mm. The resulting captured images by each lens are shown and compared in the following figure 6. Lighter area in the figures shows the rope and dark shaded area represents the area between the ropes.

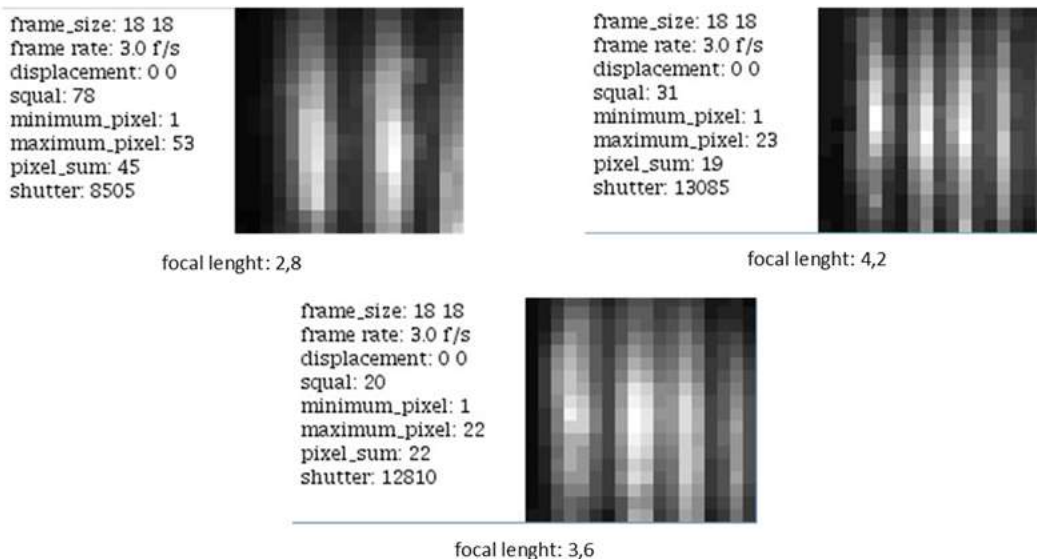


Fig. 6. Captured images by each lens

We are comparing the three images and we are recommended for measuring the circumference of the bead wires lens with a focal length $f = 2.8$ mm. With this lens captures the subject at a distance $L_p = 14$ mm and the scanning area of the leased is 7×7 mm. These values are appropriate for our measurements

The proposal of measurement circumference of bead wires via optical module. Based on proposed measuring optical module was suggests its location by measuring the inner circumference of the bead wire in the Z axis. The measurement line is always parallel to the central axis of measured bead wire. The principle of measurement is shown in figure 7. The module is rotating around the center of the swivel joint during the measurement. For detecting the track position of the module was used absolute encoder [5].

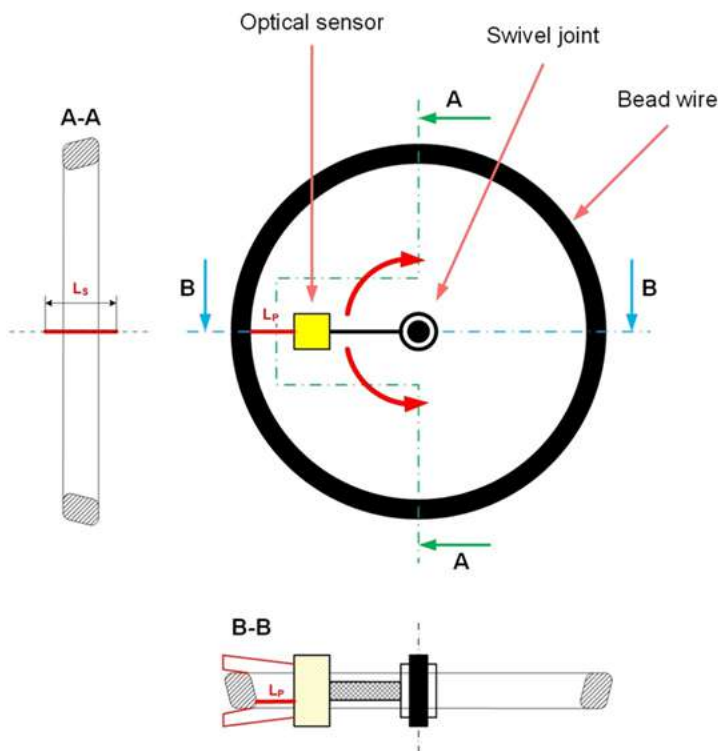


Fig. 7. Measuring principle for optical module

Following figure. 8 shows an algorithm for measuring circumference via sensor ADNS-2610. At the beginning is initializing sensor ADNS-2610, then reads the motion register in the microcontroller, in our case, we used the Arduino. When motion is detected - read the value changes in the axes X and Y . In case the motion is not detected, the sensor is in standby mode. Subsequently, the data are filtered and sent to a computer, where data are processed and evaluated.

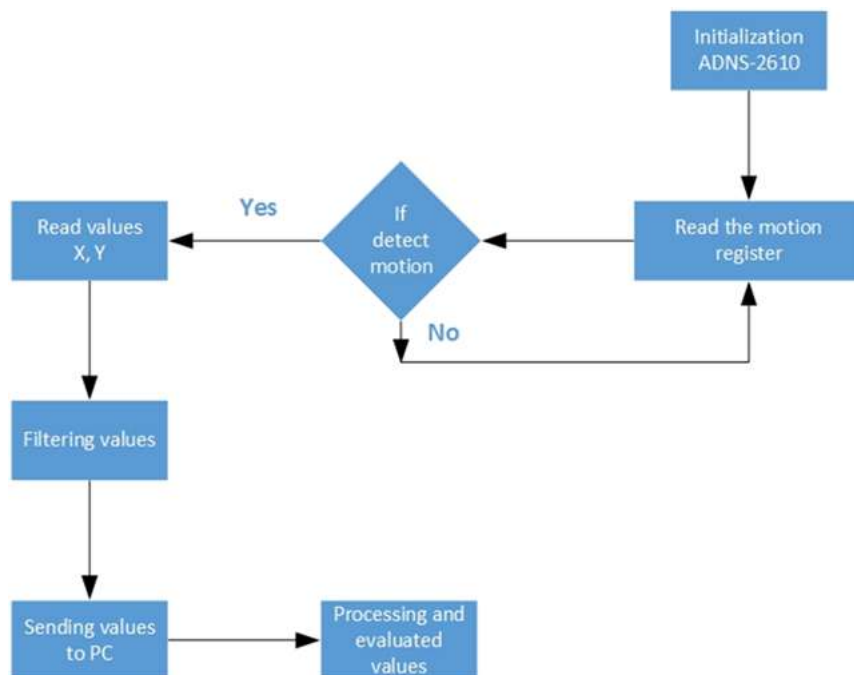


Fig. 8. Algorithm of measuring via optical module

Conclusion. The measurement principle is designed to measure the circumference of the bead wires with optical sensor ADNS-2610. After assembly the measuring stand can be tested

accuracy of module. Via visual output of the sensor will see the exact start and end of measurement in testing. In case if the measurement is not too accurate, it is possible to use an optical sensor with higher resolution and other types of lenses.

Article was created within the project research and development of Hi-Tech integrovaných strojnotechnologických systémov pre výrobu automobilových plášťov.

References

1. A. Olaru, A. Oprean, S. Olaru, D. Paune, Optimization of the neural network by using the LabVIEW instrumentation, IEEE ICMERA 2010 Proceedings, ISBN 978-1-4244-8867-4, IEEE catalog number CFP1057L-ART, pp. 40-44, 2010.
2. Zubrzycki, J., Świć, A., Taranenko, V.: Mathematical model of the hole drilling process and tyFigital automated process for designing hole drilling operations. Applied Mechanics and Materials Vol. 282 (2013), pp. 221-229.
3. P. Tuleja, E. Šidlovská, M. Hajduk: Efector Mechanism with unilateral gripping. In: TIAM - Technologiai automatyzacjamontažu. No. 1 (2013), ISSN 1230-7661, pp. 14-20.
4. <http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Avago%20PDFs/ADNS-2610.pdf>.
5. Vince, T., Molnár, J.: Remote measurements of variable topology system, In: 1179-1180, Viedeň, Rakúsko: DAAAM International Vienna, 2011.
6. Molnár, J.: Proposal of access system based upon microcontroller, In: Electromechanical and energy saving systems: Quarterly research and production journal, Vol. 6, No. 22(2013) part 2, p. 423-426, 2013.

Jozef Varga – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозеф Варга – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозеф Варга – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia). **E-mail:** jozef.varga.2@tuke.sk

Scopus Author ID: 56268363400

Rudolf Janos – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: rudolf.janos@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016528600

Marek Sukop – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Сукоп – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Сукоп – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.sukop@tuke.sk

Scopus Author ID: 36615762200

Google Scholar link: <https://scholar.google.sk/citations?user=xw4udLwAAAAJ&hl=sk>

Mikulas Hajduk – prof., Eng., PhD, Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia.

Мікулаш Гайдук – prof., Eng., PhD, Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Миклаш Гайдук – prof., Eng., PhD, Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: mikulas.hajduk@tuke.sk

Scopus Author ID: 35826618400

Duchovic Peter – Eng., Company owner, VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Петер Духовиц – Eng., Company owner, VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Петер Духовиц – Eng., Company owner, VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

E-mail: duchovic@vipo.sk

Scopus Author ID: 36969733100

Bezak Martin – Eng., VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Мартін Безак – Eng., VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Мартин Безак – Eng., VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

E-mail: bezak@vipo.sk

UDC (07)621.7:621.8

*Jozef Varga, Rudolf Janos, Marek Sukop, Mikulas Hajduk, Peter Duchovic, Martin Bezak***THE PROPOSAL OF TWO METHODS FOR MEASURE WEIGHT OF BEAD WIRES***Йозеф Варга, Рудольф Янош, Марек Сукоп, Мікулаш Гайдук, Петер Духовіц, Мартін Безак***ПРОПОЗИЦІЯ ДВОХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ БОРТОВОГО ДРОТУ***Йозеф Варга, Рудольф Янош, Марек Сукоп, Мікулаш Гайдук, Петер Духовіц, Мартін Безак***ПРЕДЛОЖЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ БОРТОВОЙ ПРОВОЛКИ**

This article describes the design options of sensing weight based on the principle of strain gauges. Measuring method is based on the measurement of deformations on the surface of the body, which is converted to the change in electrical resistance. This is an electrical resistance sensor, which consists of smaller cross-section wire of a suitable material and substrate for wire attached. Depending on what principle the sensor works, there are various types: such as bending, membrane, staple, ring and other. Moreover, the sensor can be made of different materials, most often of steel or aluminum alloy. The article describes two options of measuring the bead wires: dynamic measurement about the effector and measurement on the measuring stand.

Key words: bead wire, weight measuring, strain gauge.

Fig.: 3. Bibl.: 12.

Розглянуто варіанти дизайну ваги зондування, засновані на принципі тензодатчиків. Метод вимірювання заснований на вимірюванні деформацій на поверхні тіла, який перетворюється у зміну електричного опору. Це електричний опір датчика, який складається з меншого поперечного перерізу дроту відповідного матеріалу і підкладки для прикріпленою дроту. Залежно від принципу роботи датчика, існують їх різні типи: звивистий, мембранне, штапельне, кільцеве і інші. Крім того, датчик може бути виготовлений з різних матеріалів, найчастіше зі сталі або алюмінієвого сплаву. У статті описані два варіанти вимірювання бортових дротів: динамічний вимір ефектора і вимірювання на вимірювальній стійці.

Ключові слова: бортовий дріт, ваговимірювальне, тензодатчик.

Рис.: 3. Бібл.: 12.

Описаны варианты дизайна веса зондирования, основанные на принципе тензодатчиков. Метод измерения основан на измерении деформаций на поверхности тела, который преобразуется в изменение электрического сопротивления. Это электрическое сопротивление датчика, которое состоит из меньшего поперечного сечения проволоки подходящего материала и подложки для прикрепленной проволоки. В зависимости от принцип работы датчика, существуют их различные типы: изгибающийся, мембранное, штапельное, кольцевое и другие. Кроме того, датчик может быть изготовлен из различных материалов, чаще всего из стали или алюминиевого сплава. В статье описаны два варианта измерения бортовых проволок: динамическое измерение эффектора и измерения на измерительной стойке.

Ключевые слова: бортовая проволока, весоизмерительное, тензодатчик.

Рис.: 3. Библ.: 12.

Introduction. Bead wire is an essential reinforced material for tires on automobiles, earth-moving equipment, large trucks and aircraft. This product prevents tires from changing shape due to air pressure or external forces, and it safely locks the tire onto the rim to prevent vibration while driving. The bead wire and its placement is shown on Figure 1.



Fig. 1. The bead wire and its placement

Measurement on the measuring stand. Weight of bead wire will measure on the measuring stand, where is carried out measurement of the diameter, roundness and integrity of the bead wires. Manipulator saves the bead wire in the measuring preparation that is placed at 4 strain gauge sensors. The principle is shown on Figure 2 [1, 2, 7, 8].

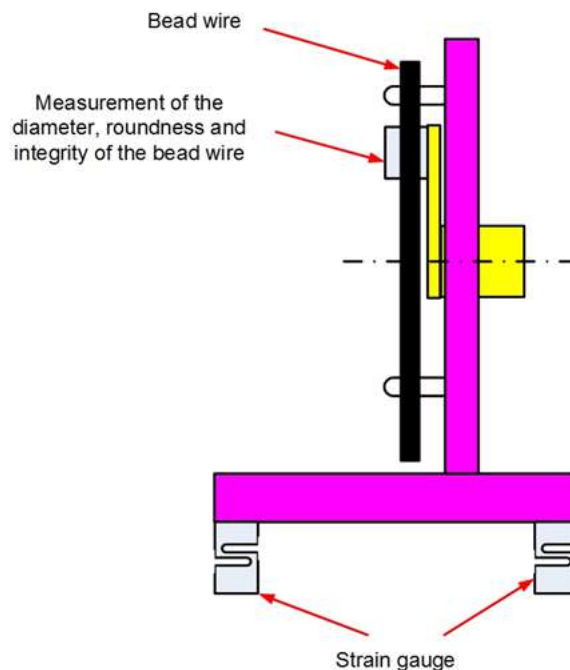


Fig. 2. Measurement on the measuring stand

Proposal of sensor for measurement on the measuring stand:

Input parameters for the design of a suitable sensor:

- Weight of measuring the stand: $m_e = 30\text{kg}$
- Weight of bead wire: $m_o = 0,5 \text{ to } 3,5\text{kg}$
- Required accuracy: $\pm 2\%$
- Environment: Normal
- The number of sensors (parallel): 4 pcs

The total mass of the system is m_c :

$$m_c = m_e + m_o \tag{1}$$

$$m_c = 30 + 3,5 = 33,5\text{kg} \tag{2}$$

Calculation of the required weight capacity of sensor:

$$m_n = k \times m_c \tag{3}$$

The safety factor is $k = 2$, same as in the previous case.

$$m_n = 2 \times \frac{33,5}{4} = 16,75\text{ kg} \tag{4}$$

The available nearest higher sensor board is board of maximum load capacity $m_n = 20\text{ kg}$ and that responds to resolution $n_l 3000\text{ d}$ by O.I.M.L.R60 [9, 3].

The required accuracy of the measuring system is data which is dependent on many factors. The basic parameter - resolution is the smallest verifiable segment. Evaluation units have a number of segments multiple large of the sensor, which thus becomes limiting segment of the measurement system. According to OIML R60 value $v_{min} = 1/10000$ rated capacity of the sensor.

$$v_{min} = \frac{m_n}{6000} = \frac{20}{6000} = 0,0033\text{ kg} \tag{5}$$

The accuracy of the weighing system is the highest value, which is determined by the following calculation:

Sensor limit of minimum segment

$$e_{min} = v_{min} \times \sqrt{N} = 0.0033 \times \sqrt{4} = 0.0066 \text{ kg} \quad (6)$$

v_{min} – minimum segment of sensor

N – number of sensors in system

Limit of weighted scale that will be used:

$$e_{min} = \frac{m_o}{n_l} = \frac{3.5}{3000} = 0.0012 \text{ kg} \quad (7)$$

The accuracy of the proposed weighting system will be the highest value = 0.007 kg. The required accuracy of the weighing system is $\pm 2\%$. That mean: in the weighted mass = 0.5 kg, it is ± 0.01 kg. It follows that the proposed measuring system complies with measuring accuracy [3, 9].

Dynamic measurement about the effector. Weight of bead wires will dynamic measuring about the robot effector. Strain gauge is installed between the end flange of robot and gripping effector, Figure 3 [4, 5, 7, 8].

Input parameters for designing a suitable sensor are:

- Weight of effector: $m_e = 8\text{kg}$
- Weight of bead wire: $m_o = 0,5$ to $3,5\text{kg}$
- Required accuracy: $\pm 2\%$
- Environment: Normal
- The number of sensors (parallel): 1pc

Proposal of sensor for dynamic measurement about the effector:

The total mass is m_c :

$$m_c = m_e + m_o \quad (8)$$

$$m_c = 8 + 3,5 = 11,5\text{kg} \quad (9)$$

Calculation of the required weight capacity of sensor m_n :

$$m_n = k \times m_c \quad (10)$$

Where k is the safety factor and its value is chosen between 1,25 to 2,2, depending on the conditions of the measurement:

- The static / dynamic mode
- The presence of vibration
- Asymmetrical load
- Environmental conditions
- Factors influencing weighing system

As far as dead load greater than 50% of the gross weight is recommended use larger safety factor $k = 2$, with this factor considered in the required capacity of the sensor.

$$m_n = 2 \times 11,5 = 23 \text{ kg} \quad (11)$$

The available nearest higher sensor board is board of maximum load capacity $m_n = 30$ kg and that responds to resolution n_l 3000 d by O.I.M.L.R60 [9].

The required accuracy of the measuring system is data which is dependent on many factors. The basic parameter - resolution is the smallest verifiable segment. Evaluation units have a number of segments multiple large of the sensor, which thus becomes limiting segment of the measurement system. According to OIML R60 value $v_{min} = 1/10000$ rated capacity of the sensor.

$$v_{min} = \frac{m_n}{6000} = \frac{30}{6000} = 0.005 \text{ kg} \quad (12)$$

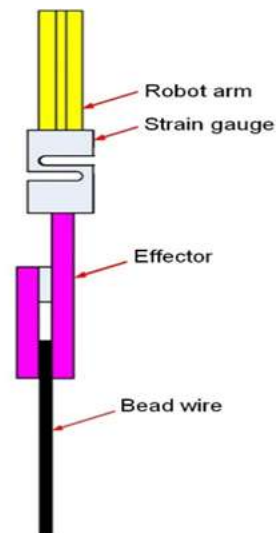


Fig. 3. Weight measurement about the effector

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

The accuracy of the weighing system is the highest value, which is determined by the following calculation:

Sensor limit of minimum segment

$$e_{min} = v_{\min} \times \sqrt{N} = 0.005 \times \sqrt{1} = 0.005 \text{ kg} \quad (13)$$

Limit of weighted scale that will be used:

$$e_{min} = \frac{m_o}{n_l} = \frac{3.5}{3000} = 0.0012 \text{ kg} \quad (14)$$

The accuracy of the proposed weighting system will be the highest value = 0.005 kg. The required accuracy of the weighing system is $\pm 2\%$. That mean: in the weighted mass = 0.5 kg, it is ± 0.01 kg. It follows that the proposed measuring system complies with measuring accuracy [9].

Conclusion. Both measurement principles have their advantages and disadvantages. In the first case, the main advantages are price, measuring over the handling and implementation into existing equipment, but also disadvantage: lower measurement accuracy and possible damage in a crash effector (manipulator). In the second case, the measurement is a main advantage: the choice number of measurement points, measurement accuracy and measurement during the evaluation of other measurements, but the disadvantage is: measuring time-consuming and more complicated mechanics for precision.

Article was created within the project rearsch and development of Hi-Tech integrovanýchstrojno technologickýchsystémov pre výrobuautomobilovýchplášťov.

References

1. A. Olaru, S. Olaru, L. Ciupitu, Assisted research of the neural network by bach propagation algorithm, OPTIROB 2010 International Conference, Calimanesti, Romania, The RPS Singapore, Book, 2010. ISBN 978-1-4244-8867-4, pp. 194-200.
2. J. SKAŘUPA, P. ZELINA: Hlavicepriemyselnýchrobotov. Ostrava 1993: 100 str. I
3. L. Páchniková, R. Jánoš, E. Šidlovská Manufacturing systems suitable for globalized market. In: Applied Mechanics and Materials. Vol. 282 (2013), p. 230-234.
4. O. Staš, M. Tolnay, D. Kravec, M. Bachratý, Jedinák, Michal: Robotic manipulation system with adaptive effector reflecting different steel plate diffraction analyzed by machine vision algorithms. In: MM Science Journal. - ISSN 1803-1269(P). - Special Edition: Proceedings of the RAAD 2011. 20th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), October 5-7, 2011, Brno, Czech Republic., 2011, pp. 78-83.
5. A. Olaru, A. Oprean, S. Olaru, D. Paune, Optimization of the neural network by using the LabVIEW instrumentation, IEEE ICMERA 2010 Proceedings, ISBN 978-1-4244-8867-4, IEEE catalog number CFP1057L-ART, pp. 40-44, 2010.
6. J. Semjon, V. Baláž, M. Vagaš: Robotized cell for spot welding with robot KUKA. In: OPTIROB 2007. Bren Publishing House, pp. 215-218.
7. M. Vagaš, J. Semjon, M. Hajduk, L. Páchniková, M. Lipčák: The view to the current state of robotics. In: Optirob2011 : International proceedings of computer science and information technology : International conference on optimalization of the robots and manipulos : Vol. 8, Sinaia – Romania. – Singapore : IACSIT press, 2011, ISSN 2010-460X, pp. 205-209.
8. P. Tuleja, E. Šidlovská, M. Hajduk: Efector Mechanism with unilateral gripping. In: TIAM - Technologiaiautomatyzacjamontažu. No. 1 (2013), pp. 14-20.
9. <http://www.emsyst.eu/tenzometre/default.html>
10. Bobovský, Z., Novák, P., Krys, V. The experimental method for obtaining input data for the design of an automatic magnetic connection mechanism (2014) Applied Mechanics and Materials, 555, pp. 434-439.
11. KOT, T., KRYS, V., MOSTÝN, V., NOVÁK, P. Control System of a Mobile Robot Manipulator. In Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference, ICC 2014. 2014, pp. 258-263.

12. MOSTÝN, V., KOT, T. Anti-collision system for vision assisted control of a mobile robot manipulator arm. In Proceedings of the ICMT 11 - International Conference on Military Technologies. Brno : University of Defence, 2011. pp. 941-947.

Jozef Varga – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозеф Варга – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Йозеф Варга – Eng., Ph.D, Reaserch worker, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: jozef.varga.2@tuke.sk

Scopus Author ID: 56268363400

Rudolf Janos – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Рудольф Янош – Eng. Ph.D., Assistant Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: rudolf.janos@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016528600

Marek Sukop – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Сукоп – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мареk Сукоп – assoc. prof., Eng. Ph.D., Associate Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.sukop@tuke.sk

Scopus Author ID: 36615762200

Google Scholar link: <https://scholar.google.sk/citations?user=xw4udLwAAAAJ&hl=sk>

Mikulas Hajduk – prof., Eng., PhD, Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia.

Мікулаш Гайдук – prof., Eng., PhD, Professor, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

Мікулаш Гайдук – prof., Eng., PhD, Professor, Технический университет Кошице, Машиностроительный факультет, Институт технологий, мехатроники и робототехники, факультет робототехники (Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: mikulas.hajduk@tuke.sk

Scopus Author ID: 35826618400

Duchovic Peter – Eng., Company owner, VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Петер Духовиц – Eng., Company owner, VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Петер Духовиц – Eng., Company owner, VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

E-mail: duchovic@viposk

Scopus Author ID: 36969733100

Bezak Martin – Eng., VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Мартін Безак – Eng., VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

Мартин Безак – Eng., VIPO (a.s. Gen. Svobodu 1069/4, 958 01 Partizanske, Slovakia).

E-mail: bezak@viposk

*Ján Zbojovsky, Pavol Liptai, Marek Moravec***MODELLING AND CALCULATING THE SHIELDING EFFECTIVENESS OF BUILDING MATERIALS***Ян Збойовський, Павол Ліптай, Марек Моравець***РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКРАНІЗУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКЛАДУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ***Ян Збойовский, Павол Липтай, Марек Моравець***РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНITНОГО ПОЛЯ**

This paper deals with modelling the penetration and absorption of high frequency electromagnetic field through the building material. It is focused on distribution of electromagnetic field in frequency range from 1.5 to 5.0 GHz, penetrating through the building material of different thickness. Nowadays in some domestic appliances and wide area exists a lot of electric and electronic devices, which are the sources of electromagnetic interference. To protect against electromagnetic interference in first case is important design concept of the devices, and some additional protection can be represented by construction works of rooms or building. For this reason, the article sets out to evaluate the shielding effectiveness and absorption of specific building materials in term of their harmful effect on the human body. Simulation of the penetration of HF electromagnetic field is created in the ANSYS HFSS.

Key words: electromagnetic field, propagation, shielding, Ansys.

Fig.: 4. Tabl.: 3. Bibl.: 7.

Розглянуто моделювання проникнення і поглинання високочастотного електромагнітного поля будівельними матеріалами. Основна увага зосереджена на поширенні електромагнітного поля, що проникає через будівельні матеріали з різними характеристиками в діапазоні частот від 1,5 до 5 ГГц. Нині є багато електричного і електронного обладнання, яке є джерелом електромагнітних завад. Щоб звести до мінімуму це втручання, дуже важливо правильно спроектувати конструкцію, причому додатковий захист можна забезпечити за допомогою екранування окремих частин обладнання. З урахуванням вищевикладеного, проведено оцінювання ефективності екранування на певних будівельних матеріалах і їх комбінацій з метою підвищення ефективності екранування. Розрахунки проводилися у програмному комплексі ANSYS HFSS.

Ключові слова: електромагнітне поле, поширення електромагнітного поля, екранування, ефективність екранування, Ansys.

Рис.: 4. Табл.: 3. Бібл.: 7.

Рассмотрено моделирование проникания и поглощения высокочастотного электромагнитного поля строительными материалами. Основное внимание уделяется распределению электромагнитного поля, проникающего через строительные материалы разных свойств в частотном диапазоне от 1,5 до 5 ГГц. В настоящее время существует целый ряд электрического и электронного оборудования, которое является источником электромагнитных помех. Чтобы свести к минимуму помехи, при разработке этого оборудования очень важно правильно спроектировать конструкцию, причем дополнительную защиту можно обеспечить с помощью достаточного экранирования отдельных частей оборудования. С учетом вышеизложенного, проведена оценка эффективности экранирования определенных строительных материалов и их комбинаций с целью повышения его эффективности. Симуляции были произведены на программном комплексе ANSYS HFSS.

Ключевые слова: электромагнитное поле, распространение волн, экранирование, эффективность экранирования, Ansys.

Рис.: 4. Табл.: 3. Библ.: 7.

Introduction. We can say that nowadays everyone is exposed to electric and magnetic fields generated from electricity transmission, telecommunication, broadcasting devices, aviation and from industrial area. The electromagnetic fields exposition has been continually increasing since the 20th century. Based on numerous scientific studies it is established, that exposition to electromagnetic field can affect the correct function of devices, and can cause harmful effects on biological organism. For example, one case from 1984. The fighter aircraft has crashed near Munich due to the interference of the electronic control system by electromagnetic waves. Therefore it is necessary to protect equipment's and biological organisms against the harmful effect. Electrical systems must be resistant against the activity of other systems and cannot adversely affect the normal operation of other systems and devices. Electromagnetic interference can cause severe problems, and this should be taken

into account during the design of new equipment. Shielding is commonly used to protect against the harmful effect of electromagnetic field.

Modeling of electromagnetic fields around electrical equipment and in each part of these devices are now an important part of the development and analysis which are important to the quality of equipment with regard to electromagnetic compatibility. These analyzes are performed by computing program. The simulation is performed in the program Ansys high frequency structural simulator. In this article is simulated and calculated the shielding effectiveness of field penetration through the glass and brick, and combinations with conductive surface. Frequency range is from 1.5 GHz to 5 GHz and simulations are created in HFSS (High frequency structural simulator). In the conclusion is described the comparison of shielding effectiveness for common frequencies using in telecommunication area.[1][2][3][4]

1. Equations of the electromagnetic field

The electromagnetic field is characterized as a physical field in which the electric and magnetic forces operate in the space.

It is described by Maxwell's equations:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D}; \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}; \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho. \quad (3)$$

And supplementary equations:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad \mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}; \quad (4)$$

$$\frac{1}{\mu_r \mu_0} \left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} \right) = -J_z + j \omega \gamma A. \quad (5)$$

The electromagnetic compatibility (EMC) is divided to EMC of biological systems and EMC of technical systems. The EMC of biological systems dealt with effects of electromagnetic field on human organism and they have been published in many research works. The EMC of technical systems deals with the interaction and coexistence of technical equipment, especially electrical and electronic devices and equipment. [3], [4]

As it was mentioned above, one of the basic ways to protect against harmful effect and interference between equipment's is shielding. [5], [6]

Shielding effectiveness can be expressed by:

$$SE = \left| \frac{E_1}{E_2} \right| \quad (6)$$

$$SE = \left| \frac{H_1}{H_2} \right| \quad (7)$$

Where E_1 , H_1 represents the magnitude of electric and magnetic field impinging on a shielding material (barrier) and E_2 , H_2 represents the magnitude of electric and magnetic field at some specific point of shielded area. [7] These equations is for case, if the value of the transmitted signal is set in logarithmic unit.

2. Modelling the propagation of electromagnetic waves and calculation of shielding effectiveness

The electromagnetic field simulations depending on frequency are realized in the program HFSS (High Frequency Structure Simulator). HFSS is a high-performance full-wave electromagnetic field simulator for arbitrary 3D volumetric passive device modeling and uses a numerical technique called the Finite Element Method (FEM), Integral Equation (IE) or Physical Optics (PO) solution techniques.

A model is represented by waveguide with input and output ports, in the center of which the shielding material is located. The input power is 1W and frequency range is set from 1.5

to 5 GHz, with step 0.01 GHz. Convergence was created to 6 steps. On the following picture the waveguide model is shown. The surrounding area is air.

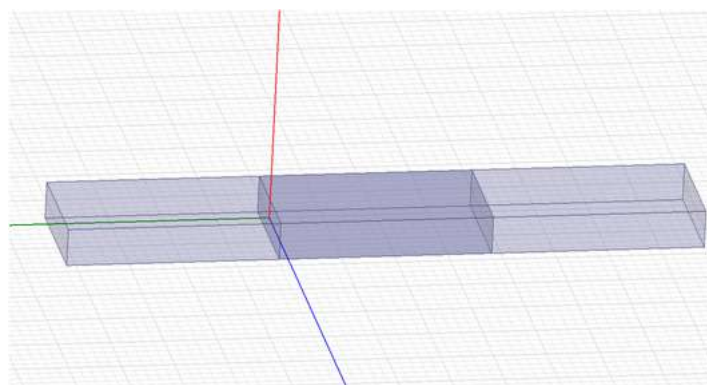


Fig. 1. Model of waveguide

Table 1

Material properties

Material	Relative permittivity	Relative permeability
Air	1.0006	1.0000004
Glass	5.5	1
Brick	4.01	1

Next picture represents the propagation of electromagnetic wave through the glass with thickness 0.5 cm.

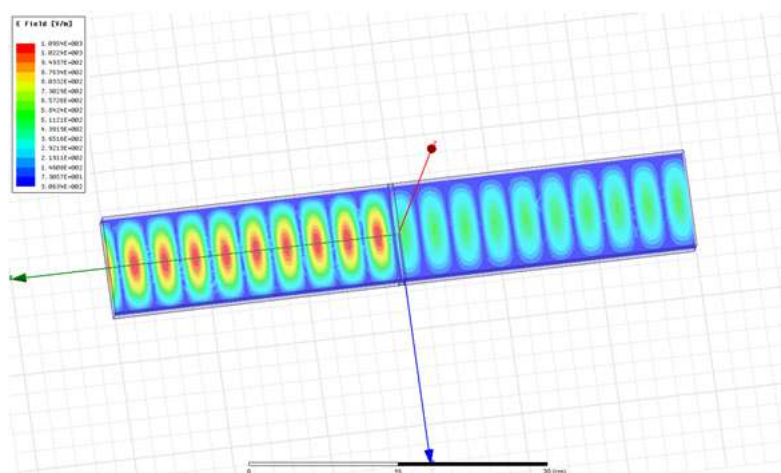


Fig. 2. The electromagnetic wave propagation for glass (thickness 0.5cm)

The average value of shielding effectiveness for glass is 0.0002 dB.

On the following picture (Fig. 3) is shown the propagation of electromagnetic wave through the glass and conductive surface with resistance 50 ohm.

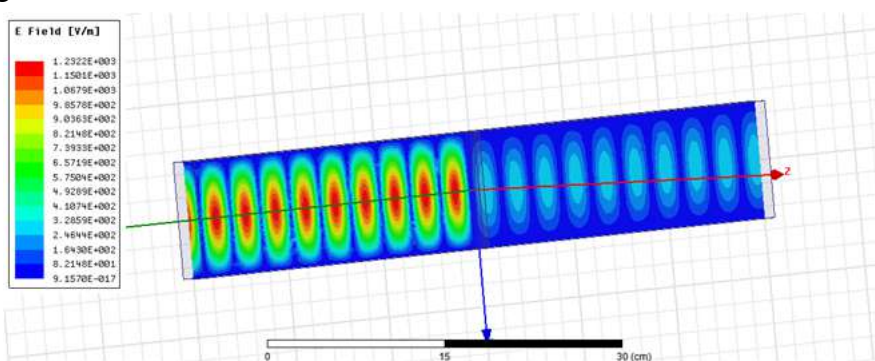


Fig. 3. The electromagnetic wave propagation for glass (thickness 0.5cm) and conductive surface

The average value of shielding effectiveness in that case is 3.4175 dB.

The propagation of electromagnetic wave through the brick and conductive surface with resistance 50 ohm is shown on the last picture.

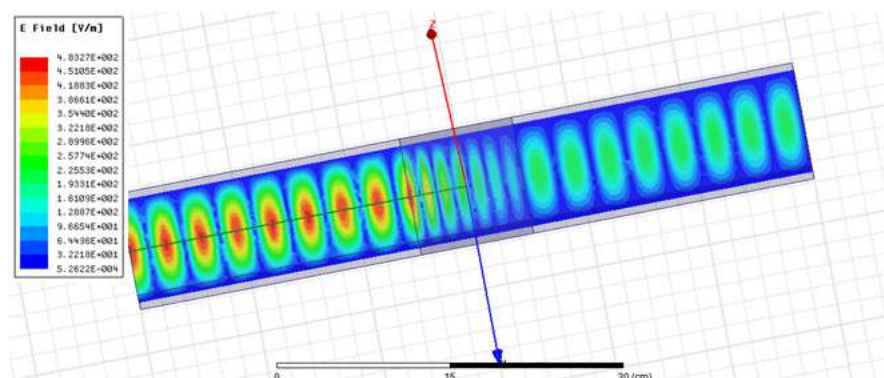


Fig. 4 The electromagnetic wave propagation for brick (thickness 10cm)

The average value of shielding effectiveness for brick with thickness 10 cm is 0.0233 dB.

Generally, shielding effectiveness of building materials is very low. If we want to increase the shielding effectiveness it is appropriate to combine the materials. The following tables shows the frequencies, for which is the shielding effectiveness calculated, calculated shielding effectiveness and average value of shielding effectiveness.

Table 2

Frequencies for comparing of the shielding effectiveness

Frequency [GHz]	Utilization
1.8	Mobile network (2G)
2.1	Mobile network (3G)
2.4	WiFi
2.6	Mobile network (4G LTE)
5	WiFi

Table 3

Calculated shielding effectiveness

Frequency [GHz]	Shielding material	Shielding effectiveness [dB]
1,8	Glass 0.5 cm	0,000011
	Glass – conductive surface 50 ohm	0,2870721
	Brick thickness 10 cm	0,000899
2,1	Glass 0.5 cm	0,000042
	Glass – conductive surface 50 ohm	0,5343802
	Brick thickness 10 cm	0,000176
2,4	Glass 0.5 cm	0,000299
	Glass – conductive surface 50 ohm	0,8451156
	Brick thickness 10 cm	0,002037
2,6	Glass 0.5 cm	0,0000264
	Glass – conductive surface 50 ohm	1,10207195
	Brick thickness 10 cm	0,003566
5	Glass 0.5 cm	0,0001325
	Glass – conductive surface 50 ohm	11,0739871
	Brick thickness 10 cm	0,112538

Conclusion. This paper was aimed to determinate the shielding effectiveness of glass, brick and combinations of some materials. This was achieved by simulation of electromagnetic field in computational software Ansys HFSS. Frequency range was from 1.5 to 5 GHz with step 0.01. The average value of shielding effectiveness for glass with thickness 0.5 cm was 0.0003dB. It means that glass shield the electromagnetic field minimally. For combinations glass + conductive surface with 50 ohm it was 3.4175dB. The average value of

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

shielding effectiveness for brick with thickness 10 cm is 0.0233 dB. Then the shielding effectiveness for frequencies using in telecommunications was compared. The best value of shielding effectiveness achieved combination glass + conductive surface for frequency 5 GHz and it was 11.0739871 dB.

In this article there were shown the simulations of the electromagnetic field distribution and calculated shielding effectiveness some building materials with different thickness and with conductive surface.

In the future it will be interest to investigate the shielding of electromagnetic field, with wider frequency range, and with various building and other materials which can be used as an appropriate shielding material for various equipment's.

Acknowledgement. This work is the result of the project implementation: Protection of the population of the Slovak Republic from the effects of electromagnetic fields, ITMS: 26220220145, Activity 2.1 supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.

This work was supported by project VEGA SR No.1/0132/15 and APVV 0432-12.

This work was supported by project: Convergence, Regional Competitiveness and Employment ITMS: 26210120002, 26230120002.



References

1. IEEE Guide--Adoption of IEC/TR 61000-3-7:2008, „Electromagnetic compatibility (EMC)--Limits--Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems“ IEEE Std 1453.1-2012 (Adoption of IEC/TR 61000-3-7:2008), 78 p., 2012, E-ISBN: 978-0-7381-7285-9J.
2. P. Vecchia, et al. “Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100kHz to 300GHz)”, INCIRP 16/2009.
3. R YOSHINO, Y., SHOTA, I., MICHIIHIKO, K., MASAO, T., Assessment of human exposure to electromagnetic field from an intra-body communication device using intermediate-frequency electric field, International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2012, 17-21.9.2012, Rome, s. 1-4.
4. B. Dolník, Electromagnetic compatibility. (Elektromagnetická kompatibilita). TU of Košice, dec. 2013, monography.
5. Vaimann, T.; Belahcen, A.; Kallaste, A. (2014). Changing of magnetic flux density distribution in a squirrel-cage induction motor with broken rotor bars. Electronics and Electrical Engineering, 20 (7), pp. 11–14.
6. M.S. Zhdanova, I.M.Varentsov, et al.: “Methods for modelling electromagnetic fields – Results from COMMEMI—the international project on the comparison of modelling methods for electromagnetic induction” Journal of Applied Geophysics, 1997, 133–271 s.
7. M. Pavlik, M. Lison, P. Kurimsky, Measuring of electromagnetic field shielding in the frequency range from 1 GHz to 9 GHz for windows in: Elektroenergetika 2015. - Košice : TU, 2015, s. 560-563.

Ján Zbojovský – Doctor of Technical Sciences, Research Fellow, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Ян Збойовський – доктор технічних наук, науковий співробітник, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Ян Збойовский – доктор технических наук, научный сотрудник, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: jan.zbojovsky@tuke.sk

ORCID: orcid.org/0000-0003-4383-3996

Scopus Author ID: 56119728300

ResearcherID: R-3952-2016

Pavol Liptai – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Павол Ліптай – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Павол Ліптай – доктор технических наук, доцент, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: pavol.liptai@tuke.sk

ORCID: orcid.org/0000-0001-8197-6627

Scopus Author ID: 56006964600

ResearcherID: P-2766-2016

Marek Moravec – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Мареk Моравець – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

Мареk Моравець – доктор технических наук, доцент, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.moravec@tuke.sk

ORCID: orcid.org/0000-0001-8878-3457

Scopus Author ID: 55971454800

РОЗДІЛ V. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664

Вікторія Челябієва, Анна Костюченко, Олена Семенюк

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ АНТИОКСИДАНТІВ У ВИРОБНИЦТВІ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

Виктория Челябинева, Анна Костюченко, Елена Семенюк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Viktoriia Cheliabiieva, Anna Kostyuchenko, Helena Semenyuk

THE USE OF NATURAL ANTIOXIDANTS FOR THE MANUFACTURE OF PRESERVED PASTRY GOODS

Розглянуто можливість використання порошків із шкірок червоних сортів винограду та шкірок баклажана як антиоксидантів у технології цукрового печива. Досліджено вплив порошків на вологість печива, пероксидне число ліпідної фракції під час зберігання, на стабільність β -каротину, який застосовували для поліпшення споживчих властивостей цукрового печива.

Встановлено, що спиртовий екстракт шкірки червоних сортів винограду – ефективний антиоксидант ліпідної фракції цукрового печива, а порошок шкірки баклажана – стабілізатор β -каротину.

Ключові слова: антиоксиданти, антоціани, насунін, ресвератрол, шкірка баклажана, шкірка червоних сортів винограду, β -каротин, цукрове печиво.

Рис.: 2. Табл.: 2. Бібл.: 11.

Рассмотрена возможность использования порошков кожуры красных сортов винограда и кожуры баклажана как антиоксидантов в технологии сахарного печенья. Исследовано влияние порошков на влажность печенья, пероксидное число липидной фракции во время хранения, на стабильность β -каротина, использованного для улучшения потребительских свойств сахарного печенья.

Установлено, что спиртовой экстракт кожуры красных сортов винограда – эффективный антиоксидант липидной фракции сахарного печенья, а порошок кожуры баклажана – стабилизатор β -каротина.

Ключевые слова: антиоксиданты, антоцианы, насунин, ресвератрол, кожура баклажана, кожура красных сортов винограда, сахарное печенье.

Рис.: 2. Табл.: 2. Библ.: 11.

The article considers the possibility of using the powders the skin of red grapes and peel eggplant how antioxidants in sugar cookie technology. Examined oxidation during storage of lipid fractions, the stability of beta-carotene, which is used to improve the performance properties of the sugar cookies. It is founds that an alcohol extract of skin red grape - effective antioxidant of lipid fraction sugar cookies, peels eggplant as a stabilizer of beta-carotene.

Key words: antioxidants, anthocyanins, nasunin, resveratrol, the skin of eggplant, the skin of red grapes, sugar cookies.

Fig.: 2. Tabl.: 2. Bibl.: 11.

Актуальність теми дослідження. Борошняні кондитерські вироби піддаються окиснювальним процесам, і тому залишається актуальним питання підвищення їх стійкості під час зберігання, що ставить перед ученими завдання пошуку нових ефективних антиоксидантів з природної сировини. Дослідження добавок рослинного походження з антиоксидантним ефектом як сировинних інгредієнтів у промисловості набуває все більшої актуальності, оскільки вони не виявляють негативного побічного впливу на організм людини та збагачують вироби біологічно активними речовинами.

Постановка проблеми. У харчовій промисловості активно використовують лактат натрію як антиоксидант та вологопоглинач, здатний відмінно поглинати вологу в продуктах харчування й посилювати в них антиокисну дію. Відомо використання цієї добавки у складі сухого печива. Найбільшого поширення у світі як антиокислювачі отримали синтетичні антиоксиданти – бутилгідроксіанізол, бутилгідрокситолуол, солі галової кислоти і третбутилгідроксінон. Ці речовини добре розчинні в жирах, не розчинні у воді й ефективно пригнічують процеси окиснення жирових компонентів. Але синтетичні антиоксиданти мають обмеження щодо дозування. На відміну від синтетичних антиоксидантів, природні антиоксиданти не обмежуються за дозою, їх застосування –

перспективний шлях при розробці харчових продуктів, оскільки природні добавки рослинного походження багаті моно- і дисахаридами, вітамінами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами, включаючи пектин та ін. [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під керівництвом І. В. Сирохмана досліджена антиокислювальна дія деревію, череди, барвника чайного коричневого, арніки, звіробою звичайного, насіння лимоннику, ефіророзчинних екстрактів суцвіття вільхи на жирах та борошняних кондитерських виробках.

М. Л. Павлишин дослідила вплив пюре яблучного, листя петрушки городньої, пастернаку, м'яти перцевої, квітів бузини чорної, листя селери на сповільнення окиснення різних видів жирів.

За дослідженнями Т. М. Лозової, високою антиокислювальною здатністю володіють листя бадану товстолистого, фіалка триколірна та липовий цвіт. Досить відчутний стабілізуючий ефект властивий порошку любистку лікарського. Його додавання сповільнило утворення початкових продуктів окиснення в 1,2–1,7 разу.

Перспективними можна вважати порошки з виноградної вичавки, які отримані за криогенною технологією. Результати досліджень показали, що додавання кріас-порошків і екстракту з виноградної вичавки подовжує термін зберігання здобного печива «Вершкове» на 30–80 % [2]. Також антиоксидантною дією володіє екстракт насіння винограду.

Додавання морквяного та гарбузового пюре до рецептури складу пряників дає змогу не лише підвищити харчову цінність за рахунок наявності харчових волокон, пектину, β -каротину та інших біологічно активних речовин, а також подовжити термін зберігання внаслідок більш міцного зв'язування вологи. Природним джерелом антиоксидантів, які можна використовувати в борошняних кондитерських виробках, є сливове пюре, чорнослив, сливовий екстракт, порошок зі шкірки гранатів та гранатовий сік [3].

Доведена висока антиоксидантна дія таких спецій, як куркума, мускатний горіх, майоран, чебрець. Зокрема, високою антиокислювальною здатністю відрізняється куркума, культивована у Південній Кореї. Запропоновано застосовувати як антиоксиданти для борошняних кондитерських виробів гарцинію, куркумін та ванілін.

Як антиоксидант можна використовувати зелену шкірку стебел цукрової тростини. Доведена висока антирадикальна здатність екстракту з насіння фенхелю.

Значний інтерес для спеціалістів кондитерської промисловості мають флавоноїдні сполуки, які теж володіють потенційною антиокислювальною активністю. Важливим антиоксидантом вважають кверцитин. Для печива досліджено чайно-катехіновий концентрат – поєднання кверцитину та аскорбінової кислоти. У ході досліджень встановлено, що за рахунок включення кверцитину (0,2 % від маси жиру) можна підвищити стійкість у зберігання печива з вмістом жиру 8 % у 2,1–2,4 разу, а в поєднанні з аскорбіновою кислотою – у 2,8–3,9 разу [4].

У наукових роботах показано, що для кондитерської промисловості інтерес представляє шкірка винограду червоних сортів як джерело біологічно-активних речовин – пектинів, поліфенолів, мінеральних речовин та ін. [5; 6]. Досліджена антиоксидантна дія шкірок червоних сортів винограду на стійкість соняшникової олії [7].

Однак відсутні дослідження стосовно використання шкірок баклажана та шкірок червоних сортів винограду як антиоксидантів у рецептурі кондитерських борошняних виробів, а також стосовно їх впливу на стабільність β -каротину.

Виділення не досліджених раніше частин загальної проблеми. Аналіз публікацій показав, що обмежена інформація відносно використання як антиоксидантів у складі борошняних кондитерських виробів порошоків зі шкірок червоних сортів винограду та шкірок баклажана, які містять найбільш потужні антиоксиданти – ресерватол та насунін.

Мета статті. За мету було поставлено дослідити антиоксидантну дію порошоків зі шкірок червоних сортів винограду та шкірок баклажана на жирову основу цукрового

печива, обґрунтувати спосіб використання досліджуваних антиоксидантів у технологічній схемі печива цукрового, дослідити вплив антиоксидантів на якість печива цукрового під час зберігання.

Виклад основного матеріалу. Антоціани виявляють антиоксидантні властивості. Характерна риса присутності антоціанів у великій кількості – інтенсивне червоне, синє або фіолетове (до чорного) забарвлення плодів, квіток й інших частин рослин. Плоди баклажанів зазвичай характеризуються інтенсивним темно-фіолетовим забарвленням, обумовленим накопиченням антоціанів [8]. У першу чергу, харчова цінність баклажана визначається глікозидами дельфінідина – флавоноїдного пігменту антоціанової природи, що володіє вираженою антиоксидантною активністю (глікозиди дельфінідина містяться у шкірці баклажана і визначають його темно-фіолетове забарвлення, а в білих сортах глікозиди дельфінідина відсутні).

Основним антоціаном баклажана є насунін – дельфінідина 3-[4-(цис-транс-п-кумароїл)-L-рамнозу(1→6) глюкопіранозид]-5-глюкопіранозид (рис. 1) [9].

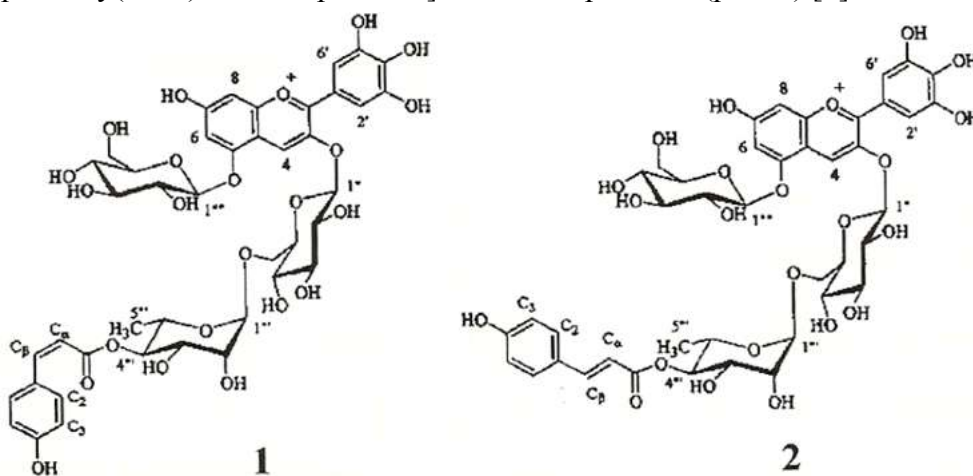


Рис. 1. Структурна формула цис-Насуніну (1) і транс-Насуніну (2)

Антоціани виноградної шкірки представлені переважно D-глюкозидами мальвідина, ціанідина, дельфінідина, пеонідина, петунідина та пеларгонідина, а також їх естерами з похідними бензойної та гідроксикоричної кислот [10]. Крім антоціанів, шкірка винограду містить антиоксиданти іншої природи, серед яких ресвератрол (рис. 2) – потужний природний антиоксидант стільбенового ряду, який переважає за активністю β-каротин у 5 разів, вітамін С – у 20 разів, вітамін Е – у 50 разів.

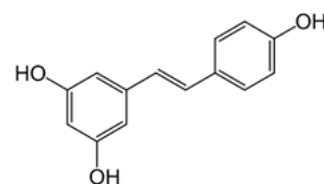


Рис.2. Структурна формула ресвератролу

Досліджували порошки та спиртові екстракти зі шкірок баклажана та червоних сортів винограду. Шкірку ягід винограду та шкірку баклажану сушили при 60 °С до досягнення постійної маси, подрібнювали на електричному млині й отримували порошок. Екстракт отримували з порошоків 70 % розчином етанолу. Екстрагування проводили протягом 120 хв.

Антиоксидантну активність досліджуваних порошоків та спиртових екстрактів оцінювали відносно жирової основи печива цукрового за пероксидним числом згідно з ДСТУ 4463:2005 «Маргарини, жири кондитерські та для молочної промисловості». Вологість печива визначали за ГОСТ 5900-73 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ». Жирова основа – маргарин столовий 82 % (перекисне число не більше 3 ммоль ½ О/кг). Дослідження проводили у модельних умовах прискореним методом (температура – 30±2 °С, час випробувань – 21 доба).

До жирової основи печива цукрового вводили спиртові екстракти у кількості 1 % від маси жиру, оскільки антоціани добре розчиняються у воді і спирті, але погано розчиняються у неполярних розчинниках, був обраний саме такий спосіб введення досліджуваних добавок.

Виготовляли цукрове печиво за класичною рецептурою. Порошки шкірки баклажана та шкірки червоних сортів винограду добавляли до борошна (1 % від маси) або вводили у жирову фракцію печива у вигляді спиртової витяжки у кількості 1 % від маси жиру. Печиво зберігали при температурі 18 ± 2 °C протягом 30 діб, а потім досліджували ступінь окиснення жирової основи печива за пероксидним числом.

З метою підвищення споживчої цінності печива його збагачують рослинними добавками, зокрема морквяним соком або порошком. Виготовляли цукрове печиво, збагачене β -каротином, та оцінювали вплив порошків шкірки баклажана та шкірки червоних сортів винограду на збереженість β -каротину. Екстрагували каротин із зразків печива за допомогою суміші ацетону та гексану. Для цього відбирали 5 г продукту, переносили його у колбу на 100 см³ додавали 50 см³ суміші ацетону та гексану та інтенсивно збовтували, якщо продукт повністю не знебарвився, то додавали ще суміш розчинника. До кожного аналізованого зразка додавали однаково кількість розчинника. Потім фотометрували на КФК-3 отриману витяжку щодо розчинника при довжині хвилі 450 нм та обчислювали масову частку β -каротину в мг на 100 г продукту [11].

За результатами порівняння величини пероксидного числа контрольного зразка маргарину столового (жирової основи печива цукрового) та зразків маргарину з додаванням спиртового екстракту шкірки червоних сортів винограду (зразок 1) і спиртового екстракту шкірки баклажана (зразок 2) встановлено, що пероксидне число зразка 1 у 2,3 разу, зразка 2 у 1,1 разу менше, ніж у контрольного зразка. Отже, спиртовий екстракт шкірки червоних сортів винограду володіє вираженою антиоксидантною дією відносно жирової фази цукрового печива. Спиртовий екстракт шкірки баклажана, незважаючи на вміст активного антиоксиданту насуніну, не впливає на збереженість ліпідної фази цукрового печива. Пояснити отриманий результат можна, враховуючи особливості будови та властивості антоціанів. Антоціани розчинні у воді та спиртах, очевидно в неполярному розчиннику антиоксидантна активність антоціанів гальмується. У складі шкірки червоних сортів винограду, на відміну від шкірки баклажана, крім антоціанів, містяться інші активні антиоксиданти, серед яких ресвератрол – потужний антиоксидант стільбеннового ряду. Він диспергується у ліпідній фазі і, незважаючи на те, що ресвератролу міститься у шкірці червоних сортів винограду майже у 10 разів менше, ніж антоціанів [10], забезпечує високу антиокиснювальну активність.

Свіже випечене печиво мало приємний смак і аромат. Небажані окисні перетворення жирової основи печива під час зберігання відбиваються на його смаку й ароматі. Псування жиру печива оцінювали за пероксидним числом. Пероксидне число зразків печива, які містили порошок шкірок винограду і порошок баклажана, було менше у порівнянні з контрольним зразком у 1,4 і 1,2 разу відповідно. Пероксидне число зразків печива, під час приготування якого у маргарин вводилась спиртова витяжка порошку шкірки червоних сортів винограду та баклажана, було меншим у 2,3 і 1,4 разу відповідно у порівнянні з контрольним зразком. Таким чином, ефективним способом гальмування окиснення жиру цукрового печива є введення спиртових витяжок шкірок червоних сортів винограду в маргарин під час приготування емульсії.

Збереження якості печива залежить від його здатності поглинати воду з навколишнього середовища. Поглинання вологи призводить до зволоження, зміни якості, печиво розм'якшується і швидко псується. Зволоження може відбуватися за рахунок гігроскопічності (здатність вбирати вологу з навколишнього середовища), конденсації води при різких перепадах температур тощо.

Випаровування вологи викликає процес усушки, за якої зменшується маса і погіршується якість товару. В результаті десорбції летких речовин продукт втрачає аромат. Згідно з ДСТУ 3781-98 «Печиво. Загальні технічні умови» вологість печива цукрового повинна бути у межах 2,0–8,5 % (з борошна пшеничного вищого гатунку) і 2,0–9,0 % (з борошна пшеничного першого гатунку).

Досліджували вплив порошків та екстрактів на вологість свіжого печива, та вологість печива через 30 діб зберігання в картонній упаковці при температурі 18 ± 2 °C (табл. 1).

Таблиця 1

Результати дослідження вологості печива цукрового

Термін зберігання	Вологість зразків печива цукрового, %				
	Контроль	Порошок шкірки баклажана	Порошок шкірки винограду	Екстракт шкірки баклажана	Екстракт шкірки винограду
Свіже	8,3	4,1	5,6	8,3	8,1
Зберігання 30 діб	5,0	5,1	4,1	5,1	5,3

Вологість усіх зразків печива відповідала вимогам ДСТУ 3781-98. Під час зберігання протягом місяця вологість печива зазнала змін, вологість контрольних зразків зменшилась у 2,2 разу в порівнянні зі зразками, які містили порошки шкірок баклажана та винограду. Так, вологість контрольного зразка за 30 діб зберігання зменшилась на 3,3 %, вологість зразків печива з додаванням порошку шкірки червоних сортів винограду зменшилась усього на 1,5 %, вологість печива з додаванням порошку шкірки баклажана зросла на 1,0 %.

Намочуваність зразків цукрового печива з додаванням порошків із шкірок червоних сортів винограду та баклажана була дещо нижчою, ніж у контрольного зразка, але всі зразки мали намочуваність від 152 до 170 %, що відповідає вимогам ДСТУ 3781-98.

За результатами (табл. 2) дослідження порошків та екстрактів шкірки баклажана та червоних сортів винограду на збереженість β -каротину (у разі його використання у технології цукрового печива) у зразку печива з додаванням порошку моркви та баклажана міститься β -каротину 0,64 мг/100 г продукту. Якщо з цього значення вирахувати вміст β -каротину у контрольному зразку та його вміст у зразку з порошком баклажана, то отримаємо вміст β -каротину 0,31 мг/100 г. Зразок печива з додаванням порошку моркви, якщо вирахувати вміст β -каротину контрольного зразка, містить 0,29 мг/100 г. Таким чином, у разі використання порошку баклажана як антиоксиданту в складі збагаченого морквяним порошком цукрового печива спостерігається позитивна його сумісність з β -каротином. Порошки та екстракти шкірок винограду є антагоністами до β -каротину. При їх додаванні вміст β -каротину суттєво знижується, що очевидно пояснюється особливістю хімічного складу.

Таблиця 2

Вплив досліджуваних порошків та екстрактів на збереженість β -каротину в цукровому печиві

Зразок печива	Вміст β -каротину, мг/100 г	Зразок печива	Вміст β -каротину, мг/100 г
Контрольний	0,112 \pm 0,001	Із додаванням порошку моркви і шкірки винограду	0,221 \pm 0,001
Із додаванням порошку моркви	0,400 \pm 0,001	Із додаванням екстракту порошку баклажана	0,214 \pm 0,002
Із додаванням порошку шкірки баклажана	0,335 \pm 0,002	Із додаванням порошку моркви й екстракту порошку баклажана	0,540 \pm 0,001
Із додаванням порошку моркви і шкірки баклажана	0,642 \pm 0,001	Із додаванням екстракту порошку винограду	0,182 \pm 0,003
Із додаванням порошку шкірки винограду	0,228 \pm 0,002	Із додаванням порошку моркви і екстракту порошку винограду	0,171 \pm 0,002

Висновки. Екстракт порошку шкірок червоних сортів винограду – ефективний антиоксидант жирової основи печива цукрового. Використання екстракту дозволяє підвищити стійкість маргарину столового 82 % у 2,3 разу. Ефективним є використання екстракту шкірок червоних сортів винограду як антиоксиданту за допомогою введення його у маргарин на етапі приготування емульсії у технологічній схемі цукрового печива. Введення порошоків шкірок червоних сортів винограду та баклажана до борошна під час виробництва печива позитивно впливає на вміст вологи, який не зазнає суттєвих змін під час зберігання. Виявлено, що порошок шкірок баклажана є стабілізатором відносно β -каротину.

Список використаних джерел

1. Дробот В. И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности / В. И. Дробот. – К. : Урожай, 1988. – 152 с.
2. Чуйко А. М. Подовження термінів зберігання пісочного печива з використанням нетрадиційних добавок [Електронний ресурс] / А. М. Чуйко, Р. Я. Томашевська, Ю. В. Соболь // Матеріали III Міжнародної наук. інтернет-конф. «Інновації та традиції в сучасній науковій думці». – Режим доступу : <http://intkonf.org/k-tehn-n-chuyko-am-tomashevskaya-rya-sobol-yuv-podovzhennya-terminiv-zberigannya-pisochno-go-pechiva-z-vikoristannyam-netraditsiynih-dobavok>.
3. Ткаченко А. С. Формування споживчих властивостей печива цукрового підвищеної харчової цінності : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.15 / Ткаченко Аліна Сергіївна. – Львів, 2015. – 344 с.
4. Сирохман І. В. Поліпшення споживчих властивостей печива / І. В. Сирохман, Т. М. Лозова, О. І. Гирка // Харчова наука і технологія. – 2012. – № 1 (18). – С. 54–56.
5. Перспективы разработки новых биологически активных продуктов питания на основе винограда / А. М. Авидзба, В. И. Иванченко, В. А. Загоруйко, Ю. А. Огай // Виноградарство и виноделие. – 2001. – № 1. – С. 30–31.
6. Наумова Л. Г. Биохимическая и диетическая характеристика столового винограда / Л. Г. Наумова // Виноделие и виноградарство. – 2004. – № 1. – С. 36–38.
7. Підвищення антиоксидантної стійкості олійної основи емульсійних продуктів харчування оздоровчого призначення / В. В. Анан'єва, Л. В. Кричківська, А. П. Белінська, С. О. Петров // Вісник НТУ «ХП». – 2016. – № 19 (1191). – С. 75–80.
8. Kevin Gould. Anthocyanins. Biosynthesis, Functions, and Applications / Kevin Gould, Kevin Davies and Chris Winefield. Springer Science+Business Media, LLC, 2009. – 323 p.
9. Gallo M. Nasunin, an antioxidant anthocyanin from eggplant peels, as natural dye to avoid food allergies and intolerances / M. Gallo, D. Naviglio, L. Ferrara // European Scientific Journal March. – 2014. – V.10, no.9. – Pp. 1–11.
10. Шестернин В. И. Изучение состава антоцианов винограда «Загадка Шарова» / В. И. Шестернин, В. П. Севодин // Химия растительного сырья. – 2013. – № 3. – С. 177–180.
11. Разработка методик количественного определения содержания β -каротина и фикоцианина в биомассе спироулины пищевой (spirulina platensis) / С. В. Первушкин, И. И. Маркова, В. А. Куркин, Н. Н. Желонкин // Фармацевтические науки. Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8. – С. 1426–1429.

References

1. Drobot, V.I. (1988). *Ispolzovanie netradicionnogo syria v khlebopekarnoi promyshlennosti [The use of non-traditional raw materials in the baking industry]*. Kiev: Urozhay (in Russian).
2. Chuiko, A.M. Tomashevskaya, R.Ya, Sobol, Yu.V. (2016). Podovzhennia terminiv zberihannia pisochnoho pechiva z vykorystanniam netradytsiynikh dobavok [Extension of shelf life shortcake biscuits using unconventional supplements]. *Materialy III Mizhnarodnoi nauk. internet-konf. «Innovatsii ta tradytsii v suchasni naukovi dumtsi» – Materials III International Scientific Internet Conference “Innovation and tradition in contemporary scientific thought”*. Retrieved from <http://intkonf.org/k-tehn-n-chuyko-am-tomashevskaya-rya-sobol-yuv-podovzhennya-terminiv-zberigannya-pisochno-go-pechiva-z-vikoristannyam-netraditsiynih-dobavok>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Tkachenko, A.S. (2015). Formuvannia spozhyvchykh vlastyvostei pechyva tsukrovoho pidvyshhenoi kharchovoi tsinnosti [Formation of consumer properties cookies sugar high nutritional value]. *Candidate's thesis*. Lviv (in Ukrainian).
4. Syrokhman, I.V., Lozova, T.M., & Hyrka, O.I. (2012). Polipshennia spozhyvchykh vlastyvostei pechyva [Improving consumer properties cookies]. *Xarchova nauka i texnolohiia – Food science and technology*, no. 1 (18), pp. 54–56 (in Ukrainian).
5. Avidzba, A.M., Ivanchenko, V.I., Zagoruiko, V.A. & Ogai, Iu.A. (2001). Perspektivy razrobotki novykh biologicheskii aktivnykh produktov pitaniia na osnove vinograda [Prospects for the development of new biologically active food products based on grape]. *Vinogradarstvo i vinodelie – Viticulture and Winemaking*, no. 1, pp. 30–31 (in Russian).
6. Naumova, L.G. (2004). Biokhimicheskaia i dieticheskaia kharakteristika stolovogo vinograda [Biochemical and dietary characteristics of table grapes]. *Vinodelie i vinogradarstvo – Viticulture and Winemaking*, no. 1, pp. 36–38 (in Russian).
7. Ananieva, V.V., Krychkovska, L.V., Bielinska, A.P. & Petrov, S.O. (2016). Pidvyshchennia antyoksydantnoi stiikosti oliinoi osnovy emulsiinykh produktiv kharchuvannia ozdorovchoho pryznachennia [Increased antioxidant stability of oil emulsion food basics recreational purposes]. *Visnyk NTU «XPI» – Messenger NTU “KhPI”*, no. 19 (1191), pp. 75–80 (in Ukrainian).
8. Gould K. et al. (eds.) (2009). *Anthocyanins. Biosynthesis, Functions, and Applications*. Springer Science+Business Media, LLC. (in New York).
9. Gallo, M., Naviglio, D. and Ferrara, L. (2014). Nasunin, an antioxidant anthocyanin from eggplant peels, as natural dye to avoid food allergies and intolerances. *European Scientific Journal March*. vol. 10, no. 9. pp. 1–11 (in Macedonia).
10. Shesternin, V.I. (2013). Izuchenie sostava antocianov vinograda «Zagadka Sharova» [Studying the composition of “Mystery balls” grape anthocyanins]. *Khimiiia rastitel'nogo syria – Vegetable raw materials Chemistry*, no. 3, pp. 177–180 (in Russian).
11. Pervushkin, S.V., Markova, I.I., Zhelonkin, V.A. & Kurkin, N.N. (2013). Razrobotka metodik kolichestvennogo opredeleniia sodержaniia β -karotina i fikotsianina v biomasse spiruliny pishhevoi (spirulina platensis) [Development of methods of quantitative determination of β -carotene and phycocyanin in spirulina biomass food (spirulina platensis)]. *Farmatsevticheskie nauki. Fundamentalnye issledovaniia – Pharmaceutical sciences. Fundamental researches*, no. 8, pp. 1426–1429 (in Russian).

Челябієва Вікторія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Челябієва Вікторія Николаевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Cheliabieva 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>

Researcher ID: F-7305-2014

Scopus ID: 6505851894

Костюченко Анна Миколаївна – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Костюченко Анна Николаевна – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kostyuchenko Anna – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: anna.kostyuchenko.94@mail.ru

Семенюк Олена Юрійвна – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Семенюк Елена Юрьевна – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Semenyuk Helena – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: helen030294@gmail.com

УДК 684.4.041

*Роман Гора, Павло Ігнатенко***МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБІВ З ДЕРЕВИНИ***Роман Гора, Павел Игнатенко***МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ***Roman Gora, Pavlo Ihnatenko***MATERIALS FOR WOOD PRODUCTS**

Характеристика будь-якого виробу з деревини визначається затратами на його проектування та виготовлення. Зокрема, експлуатаційна довговічність та надійність, відповідність функціональним вимогам і вартість виробів залежать від ступеня раціональності їх конструювання. Ці показники визначаються й обґрунтуванням оптимальності вибору конструкційного матеріалу.

Роботу присвячено огляду різновидів деревних матеріалів та їх класифікації. Дано характеристику властивостей матеріалів. Розглянуто структуру деревних матеріалів, методи їх отримання та сферу застосування.

Ключові слова: *деревина, матеріал, пиломатеріали, шпон, фанера, меблі.*

Бібл.: 4.

Характеристика любого изделия из древесины определяется затратами на его проектирование и изготовление. В частности, эксплуатационная долговечность и надежность, соответствие функциональным требованиям и стоимость изделий зависит от степени рациональности их конструирования. Эти показатели определяются и обоснованием оптимальности выбора конструкционного материала.

Работа посвящена обзору разновидностей древесных материалов и их классификации. Дана характеристика свойств материалов. Рассмотрена структура древесных материалов, методы их получения и сфера применения.

Ключевые слова: *древесина, материал, пиломатериалы, шпон, фанера, мебель.*

Библ.: 4.

Characteristic of all wooden products is determined by the cost of its design and manufacture. Particularly, the service life and durability, compliance with the functional requirements and the cost of products depend on the level of their construction rationality. These indicators are defined including optimal structural material arguments.

The work is a survey of species of wood-based materials and their classification, characteristics properties of materials. Also is shown a structure of wood materials, methods for their preparation and field of application.

Key words: *wood, material, lumber, veneer, plywood, furniture.*

Bibl.: 4.

Постановка проблеми. Характеристика будь-якого виробу з деревини визначається затратами на його проектування та виготовлення. Зокрема, експлуатаційна довговічність та надійність, відповідність функціональним вимогам і вартість виробів залежать від ступеня раціональності їх конструювання. Ці показники визначаються й обґрунтуванням оптимальності вибору конструкційного матеріалу.

Мета статті. Провести огляд деревних матеріалів для виготовлення меблів та інших виробів з деревини. Розглянути переваги і недоліки деревних матеріалів і сферу їх застосування.

Виклад основного матеріалу. Деревина, як конструкційний матеріал, має багато позитивних властивостей. Це досить міцний і легкий матеріал. Деревина добре працює при вібраційних навантаженнях. Твердість деревини відносно висока, що дає можливість легко обробляти її на верстатах і надавати практично будь-яку форму. Пластичність деревини і її здатність до зміни властивостей у процесі термо- і вологообробки дозволяють обробляти цей матеріал методами гнуття, лущення, пресування.

Деревина володіє також властивістю, зворотною пластичності – пружністю, тобто вертається до первісної форми й розмірів після припинення дії зовнішньої сили. Вона міцно втримує металеві й інші кріплення, добре склеюється.

За сприятливих умов деревина може експлуатуватися протягом багатьох десятків, а те й сотень років. Вона має високі декоративні якості, при цьому їх можна цілеспрямовано міняти різними способами: зміною напрямку розрізу, пресуванням, фарбуванням, обробкою різними лакофарбовими матеріалами.

Поряд з позитивними властивостями деревина має і певні недоліки, які необхідно враховувати у разі її застосування.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Важливий вплив на фізико-механічні властивості деревини робить її волокниста будова, що обумовлює анізотропність деревини [1]. Необхідно враховувати й здатність деревини поглинати вологу, тобто гігроскопічність.

До недоліків деревини варто також віднести її біологічну нестійкість у вологому стані, горючість, наявність природних пороків, коливання фізико-механічних властивостей залежно від віку деревини, умов вирощання дерев, дії високих або низьких температур, різних хімічних факторів тощо.

Для виготовлення виробів використовується натуральна деревина у вигляді пиломпродукції, шпону струганого й лущеного.

Пиломатеріали поділяють на пиломатеріали листяних порід і хвойних порід. Пиломатеріали листяних порід виготовляють із деревини твердих і м'яких порід: дуба, бука, ясена, клена, граба, в'яза, ільма, берези, вільхи, осики, липи, тополі й ін. Пиломатеріали листяних порід поділяють на обрізні, односторонні обрізні і необрізні.

За розмірами поперечного перерізу пиломатеріали поділяють на дошки і бруски. За якістю деревини пиломатеріали бувають трьох сортів (1, 2, 3-й) і повинні відповідати нормам обмеження пороків за сортами [2].

Пиломатеріали хвойних порід виготовляють із деревини сосни, ялини, ялиці, модрина й ін. Їх ділять на дошки, бруски й бруси; на обрізні й необрізні.

За якістю деревини й обробки дошки і бруски поділяють на п'ять сортів (відбірний, 1, 2, 3, 4-й), а бруси – на чотири сорти (1, 2, 3, 4-й). Пиломатеріали 1, 2, 3-го сортів використовуються для виробництва різних виробів деревообробки, включаючи меблі, елементи несучих конструкцій в будівництві, деталі вікон і дверей, стругані деталі, деталі дерев'яних будинків і ін.

Шпон поділяють на струганий та лущений. Шпон струганий використовується як облицювальний матеріал для деталей і складальних одиниць, виготовлених з малоцінних порід деревини, деревиностружкових плит і фанери, які використовуються у процесі виготовлення меблів, оброблення різних приміщень тощо. Облицювання створює більш гарну структурну або декоративну поверхню, підвищує міцність і формостійкість деталей, захищає плити від зовнішніх впливів і перешкоджає виділенню з них вільного формальдегіду.

Для виготовлення струганого шпону використовують деревину листяних і хвойних порід.

Шпон лущений використовують для виготовлення клеєної шаруватої деревини, деревних пластиків, гнотоклеєних деталей, для облицювання деревиностружкових плит й ін. Текстура шпону лущеного, за рідкісним винятком, має невисокі декоративні властивості, тому як облицювальний матеріал цей вид шпону застосовується для внутрішніх, невидимих поверхонь виробів.

Для виробництва плетених виробів, особливо дачних меблів і меблів для відпочинку, різних кошиків, ваз, сувенірних і декоративних предметів використовують деревину вербових порід, у першу чергу чагарникових. Використовують 4-річну вербу осінньо-зимової заготівлі у вигляді прутів діаметром у кінцевому зрізі 10 мм і ціпків діаметром 11–40 мм. Для плетіння вживають однолітні прутки із зелено-жовтою або жовтою корою, на ціпки йдуть 4-літні прутки із зелено-коричневою корою.

Деревні матеріали отримують шляхом попереднього ділення деревини і наступного її склеювання. Залежно від вихідного матеріалу розрізняють масивні клеєні матеріали (із пиломатеріалів), шаруваті (зі шпону), комбіновані (сполучення пиломатеріалів і шпону), клеєні (зі стружки і волокон) [3].

Широке застосування мають масивні одношарові щити, які складаються з окремих ділянок, з'єднаних між собою по крайці, як правило, на гладку фугу за допомогою клею.

Міцність з'єднання на гладку фугу не поступається міцності цільної деревини при сколюванні вздовж волокон. Але такі щити можуть коробитись і розтріскуватись при зміні вологості.

Масивні щити рекомендується використовувати для виготовлення основних щитових деталей корпусних меблів, для кришок столів, стінок коробок і ін.

Найбільш формостійкими є переклеєні щити трьох- і п'ятишарові, які отримані за допомогою склеювання одношарових масивних щитів із взаємно перпендикулярним розташуванням волокон деревини [4]. Їх розміри менше, ніж у інших щитів, підлягають змінам; вони менше коробляться і не мають усадки. Ці властивості дуже важливі при конструюванні столярно-меблевих виробів високої якості, в яких щити є формотворчими і несучими навантаження елементами.

Широке застосування знаходить фанера – шарувата деревина, склеєна із трьох або більше листів лущеного шпону. Фанеру виготовляють загального призначення із зовнішніми шарами з шпону листяних і хвойних порід.

Облицьовану струганим шпоном фанеру застосовують у виробництві меблів, у будівництві для облицьовування панелей, перегородок, вбудованих меблів і т. ін. Фанеру, виготовлену з лущеного шпону, у виробництві меблів використовують для влаштування задніх стінок, дна і бічних стінок ящиків, полиць, заглушок рамок.

Фанеру виготовляють шліфованою і нешліфованою, підвищеної водостійкості та водостійкою, класів емісії формальдегіду E1 та E2.

Фанера декоративна – це фанера, облицьована плівковими покриттями у сполученні з декоративним папером або без нього. Вона може бути облицьована з однієї або двох сторін, за зовнішнім виглядом – глянцева або матова. За якістю поверхні її поділяють на перший і другий сорти. Застосовують для виготовлення меблів, у будівництві для облицьовування панелей, перегородок тощо.

Фанера бакелізована склеюється клеями на основі фенол-формальдегідних смол і призначена для конструкцій, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості (тропічний клімат) або у відкритих атмосферних умовах.

Столярні плити являють собою щити, склеєні з рейок деревини хвойних, м'яких листяних порід і берези, це легкий і міцний матеріал. Зовнішні поверхні можуть також бути облицьовані з одного або з двох боків лущеним або струганим шпоном із берези, осики, сосни, модрина, ясеня, дуба.

Столярні плити випускають нешліфованими й шліфованими з одного або двох боків. Їх застосовують для виготовлення щитових деталей меблів, стінових панелей і т. ін.

Пустотілі щити при невеликій вазі мають значну міцність, стабільність форми, низьку теплопровідність і слабку звукопровідність. Застосування пустотілих елементів чи щитових елементів з різними видами заповнення дозволяє збільшити товщину щитових деталей в конструкції меблів до 50 мм [4]. Недолік пустотілих щитів – менша в порівнянні зі столярними плитами жорсткість у площині, перпендикулярній площині щита.

Пустотілі щити являють собою рамку, яка виготовлена з брусків масиву деревини, а також із деревиностружкових плит чи плит МДФ, з лицевими шарами з клеєної фанери чи твердої деревиноволокнистої плити. Для збільшення жорсткості пустотілого щита між його лицевими шарами укладають заповнювач різного виду.

Суттєвим недоліком пустотілих щитових деталей, особливо з паперовим сотовим заповненням, є неможливість закручування шурупів чи встановлення фурнітури в дові-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

льні точки на пласті деталі, оскільки невелика товщина облицювання не забезпечує необхідну міцність утримування кріпильних елементів.

Деревиноволокнисті плити одержують із деревини хвойних і листяних порід, а також із тростини й лляної костриці з додаванням спеціальних составів і зв'язувальних речовин.

Залежно від щільності й міцності на вигин деревиноволокнисті плити бувають м'які, напівтверді, тверді і надтверді. Вони можуть бути облицьовані з однієї або двох сторін листовими або плівковими матеріалами, а також пофарбовані. За технічними властивостями вони бувають біо-, вогне-, вологостійкими й звукопоглинальними. Випускають плити нешліфованими і шліфованими, гладкими з однієї або двох сторін (сухий спосіб виробництва).

М'які плити застосовують у будівництві як матеріал для термо- і звукоізоляції стін, перегородок, міжповерхових перекриттів, стель тощо. Напівтверді плити використовують для обшивання стін і стель житлових і суспільних приміщень. Тверді й надтверді плити мокрою й сухою способами виробництва знаходять широке застосування у процесі виготовлення задніх стінок корпусних меблів, заглушок і основи меблевих виробів для сидіння й лежання, дна висувних ящиків, спинки ліжок; у будівництві – для облицювання стін, стель, перегородок; для внутрішнього облицювання салонів автобусів і т. ін. Їх також використовують у процесі виготовлення гнотоклеєних деталей із зовнішніми шарами із струганого шпону цінних порід.

У виробництві меблів широко застосовуються деревиноволокнисті плити середньої щільності, відомі як МДФ. Ці плити виготовляють із маси деревних волокон, що одержують розмелом тріски. Основним зв'язуючим елементом волокон є лігнін, який виділяється при нагріванні деревини. Екологічна чистота МДФ досягається завдяки тому, що зв'язуючою речовиною є природний, а не синтетичний матеріал.

Готові плити мають дрібнодисперсну рівномірну структуру по всьому перетину, легко піддаються механічній обробці. Їх можна легко пиляти, свердлити, фрезерувати й надавати їм різну форму, зберігаючи стабільність розміру. Однорідність і гладкість поверхні плити МДФ дозволяють її фарбувати, а також облицьовувати декоративними плівками й натуральними облицювальними матеріалами.

У меблевому виробництві плити МДФ, завдяки високій механічній міцності, застосовуються як фасади кухонних меблів. МДФ стійка до дії кухонного пару – фасади з МДФ не розбухають і не коробляться, зберігають форму при коливаннях температури, не деформуються.

На основі МДФ можна виготовляти рельєфні фасади. Матеріал дозволяє робити гарну фільонку, заокруглені кути. Плити МДФ застосовуються у процесі виготовлення корпусних меблів для вивиготовлення з'єднувальних елементів, полиць, бокових стінок ящиків.

Оскільки при виробництві МДФ не використовуються токсичні і шкідливі для здоров'я смоли, це дозволяє використовувати цей матеріал у виробництві дитячих меблів і меблів для медичних закладів.

Деревиностружкові плити виготовляються методом гарячого пресування деревних часток, змішаних зі сполучником. Їх широко застосовують у виробництві корпусних і м'яких меблів, стільниць, дитячих і кухонних меблів, офісних меблів, внутрішнього оздоблення приміщень, виготовлення перегородок, дверей, підвіконь, стелажів і інших виробів з деревини.

Головні переваги деревиностружкових плит – низька вартість і простота обробки. Наявність гідрофобізуючих, антисептичних й інших добавок обумовлює міцність і довговічність матеріалу.

За фізико-механічними показниками плити поділяються на марки П-А й П-Б, за якістю поверхні – зі звичайною й дрібноструктурною поверхнею, за ступенем обробки поверхні – на шліфовані й нешліфовані, за гідрофобними властивостями – зі звичайною й підвищеною водостійкістю. Деревиностружкові плити також випускаються облицьованими з однієї або двох боків.

Залежно від вмісту формальдегіду дозволяється випускати плити двох класів емісії: E1 (з вмістом формальдегіду до 10 мг на 100 г абсолютно сухої плити) і E2 (понад 10 і до 30 мг на 100 г абсолютно сухої плити) [3].

Деревиностружкові плити мають однакові й досить високі міцнісні показники по довжині й ширині, але мають невисоку міцність на розтягання перпендикулярно до пластів. Суттєвою перевагою деревиностружкових плит є низька ціна. Тому деревиностружкові плити є самим широко застосовуваним матеріалом для меблів економкласу. Для кухонь і ванн використовують деревиностружкові плити з підвищеною вологостійкістю. Деревиноволокнисті плити з класом емісії формальдегіду E2 заборонено використовувати у виробництві меблів для дітей.

Різноманіття кольорів, відтінків і фактур, можливість імітації фактури натуральної деревини, стійкість до різноманітних механічних пошкоджень, стійкість до термічної дії – все це сприяє широкому використанню ламінованих деревиностружкових плит у виробництві меблів, особливо офісних.

При використанні деревиностружкових плит не допускається глибоке фрезерування і виготовлення різних фігурних деталей.

Орієнтовано-стружкові плити ОСП (OSB) – композитний матеріал на основі деревини. Характерною рисою ОСП є порівняно більша і довша стружка, з якої її виготовляють і стружка у шарах має орієнтацію. Як правило, стружка в зовнішніх шарах має поздовжню орієнтацію, а у внутрішніх – поперечну. Поверхня плит досить гладка, не дивлячись на використання крупної стружки.

ОСП за своїми фізико-механічними властивостями близька до фанери і в декілька разів переважає за властивостями деревиностружкові плити і МДФ завдяки орієнтованню стружки у шарах.

Орієнтовано-стружкові плити використовуються, в основному, в будівництві.

Висновки. Проведений огляд матеріалів для виробів з деревини дає чітке уявлення про деревні матеріали, їх структуру, характеристики і сферу застосування. Наведена інформація може бути корисною студентам при вивченні дисципліни «Конструювання виробів з деревини».

Список використаних джерел

1. Гончаров Н. А. Технология изделий из древесины : учебник для вузов / Н. А. Гончаров, В. Ю. Башинский, Б. М. Буглай. – 2-е изд., испр. и дополн. – М. : Лесн. пром-сть, 1990. – 528 с.
2. Дячун З. Й. Конструювання меблів: Корпусні вироби : навч. посіб. / З. Й. Дячун. – К. : Києво-Могилянська академія, 2007. – Ч. 1. – 378 с.
3. Барташевич А. А. Конструирование мебели : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология и дизайн мебели» / А. А. Барташевич, С. П. Трофимов. – Минск : Современная школа, 2006. – 336 с. : 32 ил.
4. Радчук Л. И. Основы конструирования изделий из древесины : учеб. пособие / Л. И. Радчук. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 200 с. : ил.

References

1. Goncharov, N.A., Bashinskii, V.Yu., Buglai B.M. (1990). *Tehnologiya izdelii iz drevesiny [Wooden products technology]*. (2th ed., rev. and enl.). Moscow: Lesnaia promyshlenost (in Russian).
2. Diachun, Z.Y. (2007). *Konstruiuvannia mebliv: Korpusni vyroby [Furniture design: casewoods]*. Kyiv: Kyievo-Mohylianska akademiia (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Bartashevich, A.A., Trofimov, S.P. (2006). *Konstruirovaniie mebeli [Furniture design]*. Minsk: Sovremennaya shkola (in Russian).
4. Radchuk, L.I. (2006). *Osnovy konstruirovaniia izdelii iz drevesiny [Designing principles of wooden products]*. Moscow: GOU VPO MGUL (in Russian).

Гора Роман Миколайович – викладач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Гора Роман Николаевич – преподаватель кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина)

Gora Roman – lecturer of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gora_roman@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9541-6735>

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 Pavlo – 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: <https://orcid.org/0000-0002-0967-1631>

ResearcherID: G-6310-2014

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 628.126

Сергій Мартинов, Наталія Мінаєва, Сергій Куницький

ОЧИСТКА ПІДЗЕМНИХ ВОД ДЛЯ ПИТНИХ ЦІЛЕЙ У БАШТОВИХ ВОДОЗНЕЗАЛІЗНЮЮЧИХ УСТАНОВКАХ

Сергей Мартынов, Наталия Минаева, Сергей Куницкий

ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ НУЖД В БАШЕННЫХ ВОДООБЕЗЖЕЛЕЗИВАЮЩИХ УСТАНОВКАХ

Sergii Martynov, Nataliya Minaeva, Sergiy Kunitskyi

GROUNDWATER PURIFICATION FOR DRINKING PURPOSES IN TOWER DEFERRIZATION INSTALLATIONS

На підставі аналізу сучасного стану забезпечення сільських населених пунктів якісною питною водою та вирішення проблеми суміщення існуючих споруд на водопровідній мережі та очисних фільтрів запропонована конструкція башти-колони з пристроєм для знезалізнення води, що дозволяє проводити реконструкцію металевих водонапірних башт та є відносно дешевою, легкою у проектуванні та експлуатації.

Проведено експериментальні дослідження на працюючій баштовій установці та отримано результати, що підтвердили ефективність роботи запропонованої конструкції.

Ключові слова: *питна вода, знезалізнення, баштова установка, металева водонапірна башта, плаваюча засипка, пінополістирольний фільтр.*

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 10.

На основании анализа современного состояния обеспечения сельских населенных пунктов качественной питьевой водой и решения проблемы совмещения существующих сооружений на водопроводной сети и очистных фильтров предложена конструкция башни-колонны с устройством для обезжелезивания воды, что позволяет проводить реконструкцию металлических водонапорных башен и является относительно дешевой, легкой в проектировании и эксплуатации.

Проведены экспериментальные исследования на работающей башенной установке и получены результаты, которые подтвердили эффективность работы предложенной конструкции.

Ключевые слова: *питьевая вода, обезжелезивания, башенная установка, металлическая водонапорная башня, плавающая засыпка, пенополистирольный фильтр.*

Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 10.

On the reasons of contemporary condition analysis of ensuring qualitative drinkable water in village and the problem of combining existing edifice at water supply system and cleaning filters decision; and to install the construction of tower-column with de-ironing water device. It allows to conduct reconstruction of water pumping tower; it is relatively cheap in design and exploitation.

Experiments at working tower unit were conducted and results of the offered device effectiveness were confirmed.

Key words: *drinking water, iron removal, tower installation, metal water tower, floating filling, expanded polystyrene filter.*

Fig.: 3. Tabl.: 1. Bibl.: 10.

Постановка проблеми. Питання про якість питної води давно набуло глобального характеру. Проблема забезпечення населення безпечною для здоров'я людини якісною питною водою є особливо актуальною, оскільки її вирішення впливає на здоров'я людей і кардинальним чином впливає на ступінь екологічної й епідемічної безпеки цілих регіонів.

Відомо, що на значній території нашої країни основним джерелом забезпечення населення технічною та питною водою служать підземні води, використання яких для цілей водопостачання, в порівнянні з поверхневими водами, має багато суттєвих переваг технологічного й економічного характеру. Якість водопровідної питної води, залежить від різних чинників, основними з яких є стан та якість води джерела питного водопостачання, ефективність роботи водоочисних споруд та технології водопідготовки, санітарно-технічний стан водопровідних мереж.

У зв'язку зі складною економічною ситуацією в Україні, знищенням інфраструктури, руйнуванням існуючих водопроводів на сході країни гостро постало питання забезпечення населення якісною питною водою. При цьому потрібно, щоб процес водопідготовки

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

був простим та дешевим. Найкраще для цих цілей підходять підземні води, які часто не потребують ніяких водоочисних заходів. Проте здебільшого підземні води не відповідають вимогам [1], оскільки, особливо в західних областях України, потужні водоносні горизонти, які залягають на глибинах 50...150 м мають підвищену концентрацію заліза (до 5 мг/л), сірководню та вільного вуглекислого газу, та потребує подальшої очистки [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досвід розроблення та впровадження станцій знезалізнення води та будівництво станцій баштового типу дозволив створити (залежно від призначення) станції баштового типу [3–5], де як фільтрувальний матеріал використовувалися як звичайні важкі, так і пінополістирольні засипки. Проте більшість із запропонованих установок мають певні недоліки, такі як складність у будівництві та експлуатації конструкції, виніс пінополістиролу, велика металоємність та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Згідно з картою забезпечення України питною водою (рис. 1) використання підземних вод є можливим майже по всій території країни [6]. Зважаючи на те, що побудова комплексу очисних споруд є порівняно дорогою справою та враховуючи постійне підвищення цін на енергоносії, необхідно запроваджувати такі установки, де будуть суміщатися водоочисні фільтри з іншими спорудами систем водопостачання. Тобто, нині, найбільш перспективними є реконструкція металевих водонапірних башт, для створення установок баштового типу з фільтром, завантаженим плаваючою пінополістирольною засипкою [7]. Це дасть змогу створити місцеві схеми водопостачання невеликих населених пунктів, окремих підприємств чи групи об'єктів.

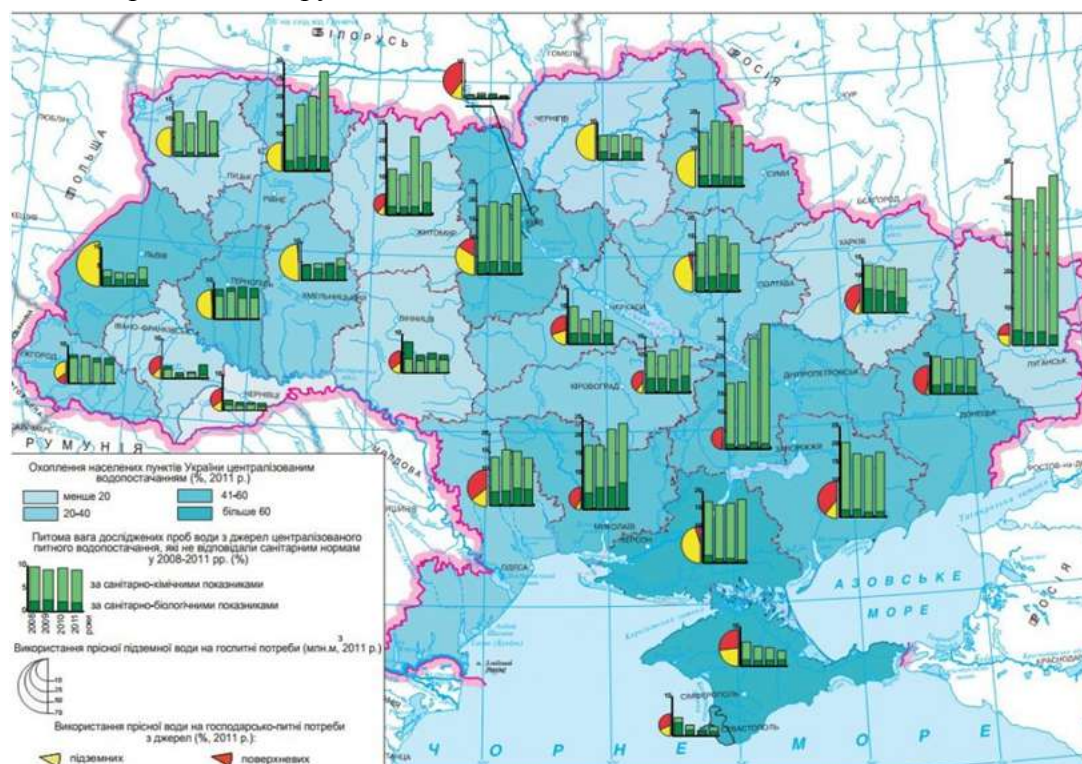


Рис. 1. Стан забезпечення України питною водою

Мета статті. Створення простої в будові та експлуатації установки, що дозволить не тільки з найменшими затратами отримувати питну воду, а й містить значний регулюючий об'єм для зменшення нерівномірності водоспоживання.

Виклад основного матеріалу. Науковцями Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне) під керівництвом д-ра техн. наук, професора В. О. Орлова була розроблена баштова установка, яка дозволяє не тільки якісно

очишувати воду, а й створює регулюючий об'єм та необхідний напір у водопровідній мережі [8]. Така установка може застосовуватися при вмісті заліза у вихідній воді до 5 мг/дм^3 , при цьому двовалентного повинно бути не менше 70 %; рН більше 6,8; лужність не менше $(1 + \text{Fe}^{2+}/28) \text{ мг/дм}^3$; вільної вуглекислоти CO_2 менше 80 мг/дм^3 .

Впровадження такого об'єкта проводилося на реконструйованій башті з пінополістирольним фільтром, яка розташована у с. Бохоники Вінницького району Вінницької області. До основних елементів установки баштового типу для знезалізнення води належать: водонапірна металева башта; трубопроводи подачі вхідної, забору очищеної та відводу промивної води; повітрявідділювач; утримуюча решітка; пінополістирольна засипка.

На рис. 2 наведено загальний вигляд основних елементів конструкції та самої башти.

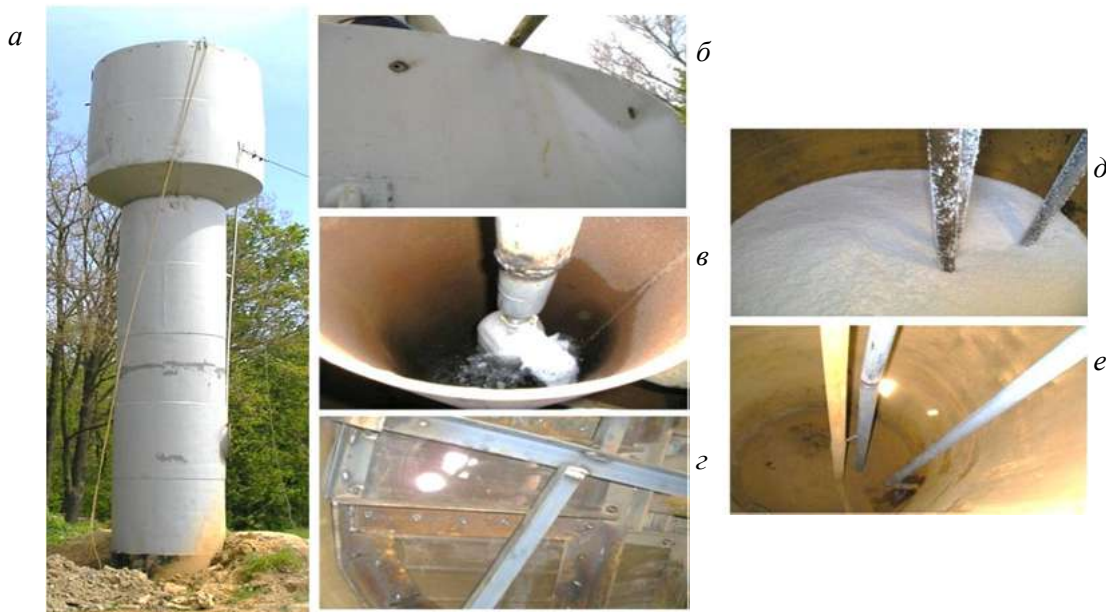


Рис. 2. Загальний вигляд башти та її деталей:

а – водонапірна металева башта; б – трубопровід подачі вихідної води; в – повітрявідділювач; г – утримуюча решітка; д – пінополістирольна засипка; е – розміщення трубопроводів

Баштова установка включає: бак башти з вентиляційними отворами, стовбур башти, усередині якого проходить трубопровід подачі вихідної води, на якому знаходиться засувка, на кінці трубопроводу розміщено аератор, звідки вода поступає у повітрявідділювач-регулятор швидкості фільтрування, який з'єднано з нижньою частиною башти, де знаходиться пінополістирольна засипка. Для утримання пінополістиролу в притопленому стані, зверху над фільтром встановлена утримуюча решітка, виконана у вигляді коміркової конструкції. Комірки закриваються рамками, які затягнуті нержавіючою сталлю сіткою.

У стовбурі башти проходить трубопровід забору профільтрованої води з засувкою, у нижній частині стовбуру башти розташовано трубопровід відводу промивної води з засувкою. Бак водонапірної башти із зовнішньої та внутрішньої сторони обладнають сходами, люком, датчиками рівня і водозливною трубою, що виключає перенаповнення бака водою.

Основним параметром управління в такій установці є рівень води в баку башти, контрольований електродними датчиками рівня, чи тиск води в напірному трубопроводі, який контролюється електроконтактним манометром. Отже, робота фільтра безпосередньо пов'язана з роботою насоса і дорівнює подачі води насосним агрегатом, тобто фільтр працює в перервному режимі.

У башті-колоні застосовується фільтр з одношаровою комбінованою засипкою зі спінених гранул полістиролу. Установка працює з висхідним фільтраційним потоком та низхідним потоком при промивці. Максимальна тривалість фільтроциклу не повинна

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

перевищувати 3 доби, що пов'язано із можливістю цементації засипки. Швидкість фільтрування у нормальному режимі становить 5–5,5 м/год.

Установка діє таким чином: вода від водозабірної свердловини подається на аератор, де насичується киснем повітря, в результаті чого утворюються пластівці заліза, а також відбувається видалення із води розчинених газів. Після аерування вихідної води повітрям вода потрапляє у повітрявідділювач. Виходячи з нижньої частини повітрявідділювача вода профільтровується через пінополістирольну засипку, де затримуються пластівці заліза. Очищена вода забирається у стовбурі над утримуючою решіткою та в баку, звідки відводиться споживачу. Оптимальна тривалість фільтроциклу становить 24–72 год, після цього необхідно провести промивку плаваючої засипки.

Регенерація засипки проводиться за допомогою водяної промивки. Для цього очищена вода з надфільтрового простору опускається по стовбуру донизу розпушуючи засипку, при цьому гранули вдаряються одна об одну і забруднення видалюються. Після промивки фільтра башта-колона переводиться в режим фільтрування.

У період початкового запуску установки ефективність очистки недостатня. Це триває доти, поки на зернах фільтраційної засипки не з'явиться каталітична плівка, яка складається, в основному, зі сполук заліза. Після промивки каталітична плівка з поверхні не вимивається, тобто зарядка засипки проводиться одноразово.

У процесі роботи установки були проведені натурні дослідження параметрів роботи пінополістирольного фільтру в режимі фільтрування та промивки. Результати досліджень наведені в таблиці.

Таблиця

Результати хімічного аналізу проб води до та після знезалізнення, взятих безпосередньо із відбірника проб після башти

Показники	Одиниці виміру	Підземна (артезіанська вода)	Очищена
pH	од. pH	7,35	7,3
Лужність	моль/м ³	8,1	7,8
Жорсткість	моль/м ³	6,8	6,7
Залізо загальне	мг/дм ³	2,17	0,05
Залізо трьохвалентне	мг/дм ³	0,85	0,05
Залізо двошвалентне	мг/дм ³	1,32	-
Нітрати	мг/дм ³	1,93	1,72
Окисність перманганатна	мгО ₂ /дм ³	0,74	0,88
Сухий залишок	мг/дм ³	510	505

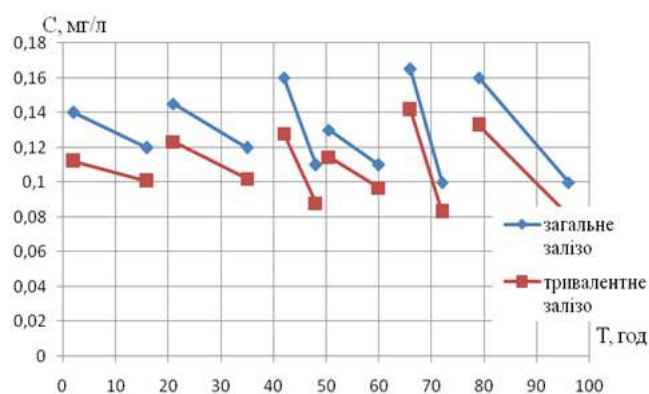


Рис. 3. Графіки вмісту загального та тривалентного заліза в очищеній воді протягом фільтроциклу

очищеною водою у водопровідну мережу населеного пункту.

Згідно з дослідженнями за весь період роботи впровадженої баштової установки концентрація заліза у фільтраті не перевищувала допустиму норму 0,2 мг/л, причому

На рис. 3 наведені результати процесу знезалізнення у башті-колоні (тривалість фільтроциклу становила 96 год). Оскільки установка працює в перервному режимі, то можна спостерігати як після тривалих зупинок (у нічну пору) спостерігається незначне погіршення якості фільтрату. Проте регулюючий об'єм установки досить великий, що забезпечує інтенсивне перемішування води в баку башти і сприяє зниженню концентрації гідроксиду заліза, що потрапляє з

концентрація заліза у вихідній воді коливалась від 1,25 до 3,04 мг/л, а ефект знезалізнення становив 96...98 % [9; 10].

Висновки і пропозиції. Впровадження башт-колон з фільтром із пінополістирольною засипкою, а також реконструкція існуючих водонапірних башт в башти-колони є досить прогресивною і перспективною тенденцією, оскільки дозволяє при порівняно невеликих капітальних затратах, а в подальшому й експлуатаційних витратах отримати воду питної якості. Перевагами цієї установки є простота конструкції та експлуатації, що не потребує складних операцій при виготовленні та монтажі деталей, економія матеріалів, що дозволяє проводити оснащення існуючих водонапірних башт та впровадити установку в серійне виробництво, при будівництві та реконструкції систем водопостачання.

Список використаних джерел

1. *Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10)* : Наказ МОЗ № 400 від 12.05.2010.
2. *Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування*: ДБН В.2.5-74:2013. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013.
3. *Орлов В. О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням : монографія* / В. О. Орлов. – Рівне, 2006. – 159 с.
4. *Gruett G. Removing Problem Iron* / G. Gruett // *Water Technology*. – 1993. – № 16 (3). – Рр. 48–51.
5. *Orlov V. Water defferrization in polystyrene foam filters with sediment layer* / V. Orlov, S. Martynov, S. Kunitsky. – Saarbrucken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 94 с.
6. *Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах* : [монографія] / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, А. М. Орлова та ін. ; за заг. ред. В. О. Орлова. – Рівне : НУВГП, 2012. – 172 с.
7. *Якість води з джерел централізованого водопостачання в Україні* [Електронний ресурс] // Асоціація бутильовані води України. – Режим доступу : <http://abwua.com/pro-vodu/yakist-vodiz-dzherel-tsentralizovanogo-vodopostachannya-v-ukrayini/>.
8. *Орлов В. О. Впровадження установок для знезалізнення води баштового типу в системи водопостачання сільських населених пунктів* / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, Н. Л. Мінаєва // *Вісник НУВГП: Збірник наукових праць*. – 2007. – Вип. 2 (38). – С. 257–263.
9. *Orlov V. O. Simulation the process of iron removal the underground water by polystyrene foam filters* / V. Orlov, A. Safonyk, S. Martynov, S. Kunitskyi // *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. – 2016. – Vol. 9, №4. – Рр. 881–888.
10. *Мінаєва Н. Л. Баштові установки для очистки підземних вод* / Н. Л. Мінаєва, С. О. Куницький // *Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації» (29–30 вересня 2016 року)*. – Переяслав-Хмельницький, 2016. – С. 245–248.

References

1. *Derzhavni sanitarni norm ta pravyla «Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoiu» [State sanitary rules and regulations “Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption”]* (STATE STANDARDS 2.2.4-171-10) (2010) from 12th May 2010. Kyiv: Ministry of Health (in Ukrainian).
2. *Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia [Water supply. External services and facilities. The main provisions of the design]*: DBN V.2.5-74:2013 (2013). Kyiv: The Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukrainian).
3. Orlov, V.O. (2006). *Znezaliznennia pidzemnykh vod sproshchenoiu aeratsiieiu ta filtruvanniam [De-ironing underground water with simple aeration and filtration]*. Rivne (in Ukrainian).
4. Gruett, G. (1993). Removing Problem Iron. *Water Technology*, no. 16 (3), pp. 48–51.
5. Orlov V., Martynov S., Kunitskyi S. (2016). *Water defferrization in polystyrene foam filters with sediment layer*. Saarbrucken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Orlov V.O. (ed.), Martynov S.Yu., Orlova A.M. et al. (2012) *Ochyshchennia pryrodnoi vody na pinopolistyrolnykh filtrakh [Purification natural water on polystyrene filters]*. Rivne: NUWMNR, pp.172 (in Ukrainian).
7. *Yakist vody z dzherel tsentralizovanoho vodopostachannia v Ukraini [The water quality of centralized water supply in Ukraine]*. Asotsiatsiia butylovani vody Ukrainy [Bottle Water Association of Ukraine]. Retrieved from <http://abwua.com/pro-vodu/yakist-vodi-z-dzherel-tsentralizovanogo-vodopostachannya-v-ukrayini>.
8. Orlov V.O., Martynov S.Yu., Minaeva N.L. (2007). Vprovadzhennia ustanovok dlia znezaliznennia vody bashtovoho typu v systemy vodopostachannia silskykh naselenykh punktiv [The introduction of iron removal plants for water tower in villages water supply]. *Visnyk NUVHP – Bulletin NUWMNR*, no. 2 (38), pp. 257–263 (in Ukrainian).
9. Orlov V., Safonyk A., Martynov S., Kunytskyi S. (2016). Simulation the process of iron removal the underground water by polystyrene foam filters. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 9, no. 4, pp. 881–888.
10. Minaeva N. L., Kunytskyi S.O. (2016). Bashтови ustanovky dlia ochystky pidzemnykh vod [Tower installation for cleaning groundwater]. Proceedings from *Materialy XVII Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi internet-konferentsii «Tendentsii ta perspektyvy rozvytku nauky i osvity v umovakh hlobalizatsii» – Materials 17th International scientific and practical Internet conference “Trends and prospects of development of science and education in the context of globalization”* (Pereiaslav-Khmelnyskyi, September, 29–30, 2016). Pereiaslav-Khmelnyskyi, pp. 245–248 (in Ukrainian).

Мартинов Сергій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

Мартынов Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и бурового дела, Национальный университет водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33028, Украина).

Martynov Sergii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Water, Wastewater and Drilling Business, National University of Water Management and Nature Resources Use (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

E-mail: s.y.martynov@nuwm.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6790-8900>

Мінаєва Наталія Леонідівна – кандидат технічних наук, викладач, голова циклової комісії «Будівництво», Технічний коледж Національного університету водного господарства та природокористування (вул. Орлова, 35, м. Рівне, 33028, Україна).

Минаева Наталья Леонидовна – кандидат технических наук, преподаватель, председатель цикловой комиссии «Строительство», Технический колледж Национального университета водного хозяйства и природопользования (ул. Орлова, 35, г. Ровно, 33028, Украина).

Minaeva Nataliya – PhD in Technical Sciences, lecturer, Technical College National University of Water Management and Nature Resources Use (35 Orlova Str., 33028 Rivne, Ukraine).

E-mail: MinaevaN-82@mail.ru

Куницький Сергій Олегович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

Куницкий Сергей Олегович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный университет водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33028, Украина).

Kunitskyi Sergiy – PhD in Technical Sciences, Senior Research Fellow, National University of Water Management and Nature Resources Use (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

E-mail: s.o.kunyskiy@nuwm.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0318-6149>

УДК 504.054(064):502.5:628.515

*Олексій Семака***КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ ГЛИБИННИХ ШАРІВ ҐРУНТУ
ВІД НАФТОПРОДУКТІВ***Алексей Семака***КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЧИСТКЕ ГЛУБИННЫХ СЛОЕВ ПОЧВЫ
ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ***Oleksii Siemaka***A COMPREHENSIVE APPROACH CLEANING OF SOIL LAYERS FROM OIL**

Розглянуто розробку пристрою для транспортування сорбентів (біопрепаратів) на необхідну глибину ґрунту з подальшою очисткою відомими методами і щодо збереження та відновлення природного середовища. Також розроблено технологію оборотної біоремедіації для забрудненого нафтопродуктами ґрунту, в яких є ризик потрапляння забруднювача у горизонт ґрунтових вод.

Ключові слова: екосистема, екологічна безпека, сорбент, пристрій, суміш нафтопродуктів, забруднення довкілля.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 11.

Рассмотрена разработка устройства для транспортировки сорбентов (биопрепаратов) на необходимую глубину почвы с последующей очисткой известными методами и по сохранению и восстановлению природной среды. Также разработана технология оборотной биоремедиации для загрязненного нефтепродуктами грунта, в которых есть риск попадания загрязнителя в горизонт грунтовых вод.

Ключевые слова: экосистема, экологическая безопасность, сорбент, прибор, смесь нефтепродуктов, загрязнение окружающей среды.

Рис.: 4. Табл.: 1. Библ.: 11.

In the article considered elaboration of a device for transporting sorbents (biologics) to the desired depth of soil followed by cleaning known methods and restoration of the environment. Also considered the technology for bioremediation of soil contaminated by oil products and risk of penetration a pollutant in horizon of groundwater.

Key words: ecosystem, environmental safety, sorbents, device, oil products, pollution.

Fig.: 4. Tabl.: 1. Bibl.: 11.

Постановка проблеми. На сьогодні значна кількість об'єктів нафтопереробного виробництва, зберігання нафти і нафтопродуктів знаходиться в незадовільному стані. Техногенні аварії, що виникають на об'єктах нафтового комплексу під час розгерметизації ємностей або корозії металу з подальшим потраплянням частини нафтопродуктів у природне середовище, призводять до його забруднення, а також створюють загрозу для здоров'я та майна громадян, народногосподарських об'єктів, погіршують якість вод та ґрунтів.

Відомо [1], що в результаті господарської діяльності об'єкта «Нафтобаза» ВАТ «Чернігівнафтопродукт» на прилеглих територіях виникло малорухливе підземне озеро суміші нафтопродуктів (СН) і забруднило понад встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) землі (ґрунти) на глибинах від 2 до 30 метрів. У 2004 році ДП «Водземпроект» ВАТ «Чернігівводпроект» були визначені і розроблені основні рекомендації щодо запобігання розширенню меж ареалу забруднення і його ліквідації, які зводяться до організації перехвату потоку ґрунтових вод (над якими сформувалася «пляма» СН) системою дрен, що будуть почергово діяти залежно від його положення у вертикальній площині. Оскільки з економічних проблем цей попередній проект не було реалізовано, то залишається актуальним питання вибору оптимального із сучасних позицій нового проекту.

З урахуванням досягнень технологічного прогресу потрібно підвищувати рівень очищення природного середовища (води та ґрунту) до повної ліквідації наслідків техногенних аварій, особливе занепокоєння викликає забруднення підземних водних горизонтів та ґрунтів нафтопродуктами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд літературних джерел свідчить, що значна увага приділяється розвитку існуючих різноманітних методів очищення вод і ґрунтів від нафтопродуктів [2–11]. На рис. 1 представлено класифікацію методів очищення нафтозабруднень у ґрунті.

1. ЛОКАЛІЗАЦІЯ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ		
<u>Механічні методи</u> Обвалування забруднень	<u>Фізико-хімічні методи</u> Піно-, плівко-, геле-, структуруючі, сорбенти	
2. ЗБІР НАФТОПРОДУКТУ З ҐРУНТУ		
<u>Механічні методи</u> Збір в рідкому стані спеціальним обладнанням (насоси)	<u>Фізико-хімічні методи</u> Збір у зв'язаному стані сорбуючими матеріалами (сорбційний метод)	
3. ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ НАФТОПРОДУКТУ В ҐРУНТІ ДО ЗАЛИШКОВОГО РІВНЯ		
<u>Захоронення забрудненого ґрунту</u> Термічні методи	<u>Фізико-хімічні методи</u> Хімічний Екстракційний (очисні комплекси) Дренування ґрунту Пневматичне фракціонування	<u>Біологічні методи</u> Інтенсифікація природної біодеградації нафтопродуктів Агротехнічні заходи Біопрепарати (на основі бактерій або ПАР) Гумінові кислоти Фітомеліорація

Рис. 1. Класифікація методів локалізації та ліквідації нафтових забруднень у ґрунті
Джерело: [2].

Особлива роль у ліквідації нафтозабруднень надається сорбентам (біопрепаратам). Для ліквідації розливів нафти використовують природні та синтетичні сорбційні матеріали, класифікацію яких подано на рис. 2. Перевагами використання сорбентів є їхня ціна, а недоліками – різна поглинальна здатність.

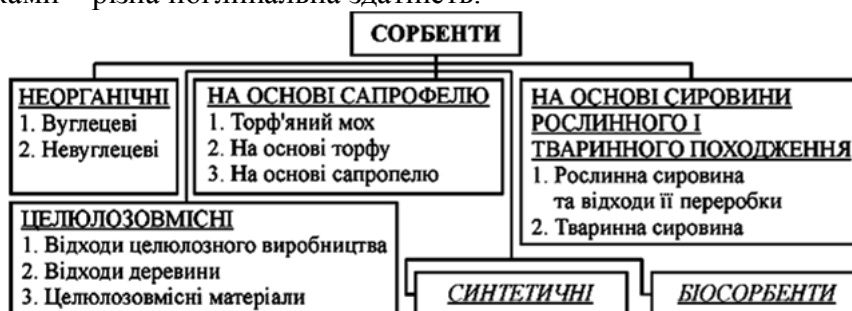


Рис. 2. Схема класифікації сорбентів

Джерело: [2].

Очистка сорбентами зводиться до локалізації аварійно небезпечної ділянки методом розсипання та обвалуванням, після чого виконується збір забруднювача (у рідкому або зв'язаному стані сорбуючими матеріалами) та відправка на подальшу переробку або очищення сучасними комплексами на основі внесення біопрепаратів до повного зниження вмісту забруднення та приведення до норм гранично допустимих концентрацій [3–10].

Відомі пристрої та способи, які застосовуються для знешкодження нафтопродуктів, базуються на окремих елементах або поєднані в один елемент, наприклад, комплексний носій – поєднання різних природних матеріалів, наприклад, торф, сіно, солома і т. ін., та секції капсули із сорбуючим елементом-біопрепаратом для сорбції і деструкції вуглеводнів.

Відомі публікації [3; 4; 8; 9], в яких враховується здатність окремих видів бактерій до знешкодження нафтопродуктів, що ініціює розробку пристроїв та способів очищення забрудненої нафтопродуктами поверхні води або поверхні ґрунту за допомогою торфу, сіна, соломи, природних матеріалів, на яких розташовані бактерії-деструктори. Однак вказані пристрої та способи неможливо використовувати для очищення глибинних шарів ґрунту від нафтозабруднень без рекультивациі або перемішування.

Відомі [5–8] пристрої у вигляді водонепроникного корпусу з бактеріями-деструкторами для очищення поверхні води або поверхні ґрунту за допомогою сорбенту для поглинання та знешкодження вуглеводневих рідинних забруднень.

Проведений огляд літературних джерел [2–11] виявляє, що основна увага приділяється очищенню вод та поверхні ґрунту, і недоліком вказаних пристроїв та технологій є неможливість їх використання у товщі забрудненої нафтопродуктами землі. Таким чином, не всі наявні екологічні проблеми, створені забрудненням нафтопродуктами доквілля, охоплено увагою в існуючих літературних джерелах.

Мета статті. Метою є розробка технології очищення глибинних шарів ґрунту.

Для реалізації поставленої мети поставлені завдання:

1. Розробити пристрій для транспортування бактерій біодеструкторів на необхідну глибину ґрунту.

2. Розробити технологію оборотної біоремедіації для забрудненого нафтопродуктами ґрунту, де є ризик потрапляння забруднювача у горизонт ґрунтових вод.

Методи дослідження. Експериментальні методи використано для визначення концентрації забруднень згідно з загальновідомими методиками.

Аналітичні методи використано для створення пристрою транспортування бактерій-деструкторів та розробки комплексу очищення ґрунтів від нафтопродуктів.

Виклад основного матеріалу. У процесі досліджень при створенні пристрою було враховано необхідність транспортування біосорбенту у глибинні шари ґрунту, тому тверда оболонка виконана у вигляді перфорованої труби та має у нижній частині фланець у вигляді бура з ріжучими крайками, які виступають за зовнішню поверхню труби, що дозволяє транспортувати оболонку у глибинні шари ґрунту; від ріжучих крайок вгору розташований гвинтовий шнек, що забезпечує відвід ґрунту при заглибленні; оболонка виготовлена із двох частин перфорованої труби, які з'єднуються затискачами, що дозволяє відкривати оболонку, вивантажувати відпрацьований біопрепарат для транспортування на переробку і багаторазово використовувати оболонку (рис. 3).

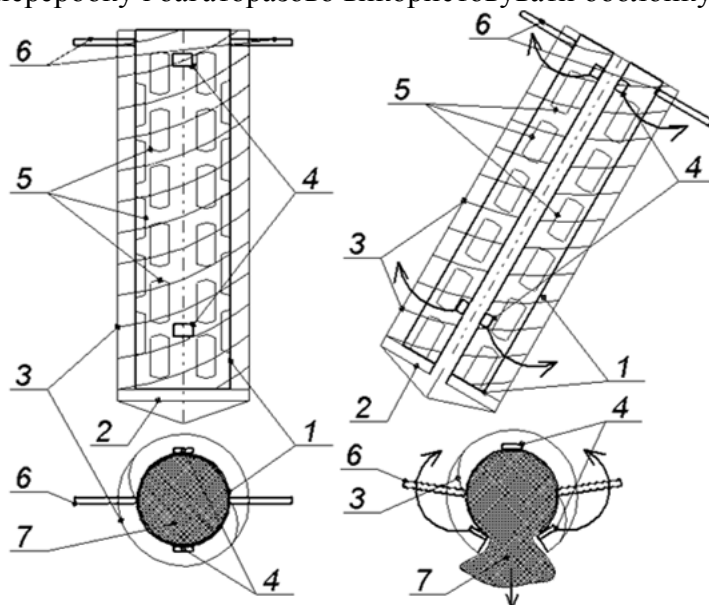


Рис. 3. Пристрій для очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів:

1 – труба (оболонка); 2 – бур з ріжучими крайками; 3 – гвинтовий шнек; 4 – затискачі;

5 – перфорація (отвори у трубі); 6 – рукоятка для обертання; 7 – біопрепарат

Джерело: [10].

Технічна задача пристрою – забезпечення очищення глибинних забруднених нафтопродуктами шарів ґрунту.

Представлений пристрій працює таким чином. Буріння ґрунту здійснюється вручну чи із застосуванням спеціальної техніки. Оптимальними з огляду на експлуатаційні властивості є такі параметри конструкції: довжина $h=1-2$ м, діаметр оболонки $d=0,1-$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

0,3 м. При досягненні пристроєм необхідної глибини, частина забрудненого нафтопродуктами ґрунту піднімається вгору завдяки гвинтовому шнеку та обробляється відомими способами на поверхні. Забруднення з зовнішнього боку оболонки потрапляють до внутрішньої частини оболонки через численні отвори перфорованої труби та знизу, де поглинаються адсорбентом і контактують з бактеріями-деструкторами, які розкладають забруднення. Приклади використання пристрою наведено у таблиці.

Таблиця

Технічні результати використання пристроїв для очищення від нафтопродуктів глибинних шарів ґрунту

№ експерименту	Параметри оболонки, м	Об'єм біопрепарату на одну корисну модель, м ³	Вага Біопрепарату, кг	Кількість вилучених нафтопродуктів, кг	Технічний результат очищення на глибині ґрунту, м
1. Запропонований пристрій	d=0,1 h=1,0	V=0,00785	1,18	4,7÷9,4	1,0
2. Запропонований пристрій	d= 0,2 h=1,5	V=0,04710	7,07	28,3÷56,6	1,5
3. Запропонований пристрій	d=0,3 h=2	V=0,14130	21,20	84,8÷169,6	2
4. Аналог UA№1746	-	залежно від виду біопрепарату			0÷0,2

Після закінчення терміну, необхідного для адсорбції і деструкції (залежно від виду адсорбенту і бактерій), розроблений пристрій виймається з ґрунту, розкривається для вивантаження відпрацьованого адсорбенту і готується для подальшої експлуатації. За необхідності блокування поширення нафтопродуктів у певному напрямку (наприклад, для захисту водних об'єктів), доцільно використовувати групу вказаних пристроїв, розташованих у вигляді подвійного паркану.

Проаналізувавши результати власних спостережень та експериментальних досліджень щодо забруднення ґрунтових вод [1; 11], а також результати дослідження ДП «Водземпроект» ВАТ «Чернігівводпроект», нами була розроблена схема оборотної біоремедіації. Блок-схема представлена на рис. 4.



Рис. 4. Блок-схема очищення території від СН методом оборотної біоремедіації

Відповідно до [1; 11] ліквідація ареалу поширення суміші нафтопродуктів над горизонтом ґрунтових вод відбувається через дренажну систему до колодязів, потім у резервуар. Знешкодження ґрунтово-водно-нафтопродуктової суміші потребувало допоміжних заходів щодо знешкодження небезпечних речовин, зокрема вивезення небезпечного забруднення на подальшу очистку.

Оскільки основний шар СН малорухливого підземного озера на території знаходиться на невеликій глибині (до двох метрів), було запропоновано поєднати подачу суміші води та сорбентів-біодеструкторів насосами у ґрунт (існуючі шурфи) після дренажу. Сорбент подається дозами (залежно від регулюючого об'єму резервуару) в перший період та подальше очищення. Насосне обладнання перекачує активну суміш із резервуара до кожного існуючого шурфу за допомогою системи трубопроводів з розприскувачами. Використавши природну гравітацію, просочення та ухил території ґрунтоводно-нафтопродуктова суміш потрапляє до дренажної системи утворюючи оборотну біоремедіацію. Також для пришвидшення процесу біоремедіації та створення напору води у шурфах є необхідність використання забруднених поверхневих водойм в процесі очищення.

Запропонована комплексна технологія ліквідації наслідків розливів нафти (рис. 4) дозволяє візуально побачити механізм якісного очищення забрудненої території від нафтопродуктів, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу і не потребуючи допоміжних заходів щодо знешкодження небезпечних речовин.

Зважаючи, що приплив ґрунтових вод до приймального резервуару становить $20,0 \text{ м}^3/\text{добу}$ з максимально виявленою концентрацією $\text{СН}=13050 \text{ мг/дм}^3$ [11], а витрата існуючого загальнодоступного препарату становить 1:4÷1:8, то біопрепарат потрібно поповнювати приблизно по 33 кг щодобово до повного знешкодження забруднення, що є оптимальним вибором зважаючи на масштаби ареалу. Залежно від припливу забруднення, дозування може бути збільшено та зменшено, за умови стабілізації ситуації.

Висновки і пропозиції. 1. Розвинуто уявлення щодо оперативного відновлення екосистеми, реабілітації ґрунту і підземних вод від забруднення, пов'язаного з аварійними розливами нафтопродуктів на основі методу оборотної біоремедіації.

2. Вперше запропоновано технологію використання бактерій біодеструкторів у глибинних шарах ґрунту завдяки розробленому пристрою, що забезпечує очищення глибинних шарів ґрунту від вуглеводневої сировини.

3. Запропонована комплексна технологія та виявлена можливість очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів з використанням комплексу споруд, що поєднує систему дренажів, колодязів з бактеріями біодеструкторами (сорбентом) та методом оборотної біоремедіації (подача водно-сорбентного розчину в ареал забруднення).

Список використаних джерел

1. *Семака О. М.* До питання дослідження міграції суміші нафтопродуктів після техногенної аварії в м. Чернігів / О. М. Семака // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2013. – Вип. 4 (64). – С. 143–149.

2. *Гринчишин Н. М.* Реабілітація ґрунтів, забруднених аварійними виливами нафтопродуктів / Н. М. Гринчишин, О. Ф. Бабаджанова // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2012. – Вип. 22.07. – С. 43–49.

3. *Патент* на винахід UA №95859 від 12.09.2011 р. Біопрепарат для сорбції і деструкції вуглеводнів і спосіб очищення води та/або ґрунту від забруднень нафтою та нафтопродуктами / Іваниця Володимир Олексійович (UA); Гудзенко Тетяна Василівна (UA); Беляєва Тамара Олексіївна (UA); Бобрешова Наталія Степанівна (UA); Кожанова Галина Андріївна (UA); Кривицька Тетяна Миколаївна (UA); Конуп Ігор Петрович (UA); Соловійов Валентин Іванович (UA); Філатов Кирило Дмитрович (UA); Баранов Олександр Опанасович (UA), патентовласники Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (UA), С02F 3/34 (2006.01), B09C 1/10 (2006.01), заявл. № а201004765 від 21.04.2010 року, Бюл. № 17, 12.09.2011 р.

4. *Патент* на винахід UA №2270 від 15.01.2004 р. Сорбент для усунення вуглеводнів нафти / патентовласники Соловійов Валентин Іванович (UA), МПК С02F 1/40 (2006.01), С02F 3/34 (2006.01), заявл. № а2003054123 від 06.06.2003 року, Бюл. № 1 від 15.01.2004 р.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. *Патент* на винахід UA №1746 від 15.04.2003 р. Секція сорбуючого бона / патентовласники Кожанова Галина Андріївна, Солов'їв Валентин Іванович, 7C02F1/40, C02F3/34, заявл. № a2002086620 від 09.08.2002 року, Бюл. № 4 від 15.04.2003 р.

6. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: US 2012/0048811 A1, Pub. Date: Mar. 1, 2012., «Sub-surface hydrocarbon capture apparatus and method», Inventors Mark D. Shaw, J. Tad Heyman, Int. Cl. C02F1/40, E02B15/04, Appl. No.: 13/199,517, Filed: Sep. 1, 2011.

7. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: WO2010138583 A1, Pub. Date: 02.12.2010, «Method of producing naturally purified salt products», Inventors Matthew L. Bollinger, Nicole M. Durch, Robert Sung Lee, Int. Cl. C01F5/34, Appl. No.: PCT/US2010/036193, Filed: 26.04.2010.

8. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: US 2011/0203996 A1, Pub. Date: Aug. 25, 2011, «Process for the containment of oil spills», Inventors Carlos Felipe Forero Monsalve, Int. Cl. C02F 1/40 (2006,01), C02F 1/28 (2006,01), B01D 53/06 (2006,01), B08B 7/00 (2006,01), Appl. No.: 12/660,185, Filed: Feb. 22, 2010.

9. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: Pub. No.: US 2011/0170953 A1, Pub. Date: Jul. 14, 2011, «Method and system for removing liquid hydrocarbons from contaminated soil», Inventors Charles M. Diamond, Int. Cl. C01F5/34, Appl. No.: 12/975,468, Filed: Dec. 22, 2010.

10. *Патент* на корисну модель №111261 від 10.11.2016 р. Пристрій для очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів / патентовласники О. М. Семака, І. М. Іванова, А. Л. Котельчук, МПК (2016.01), E02B 15/10 (2006.01), B09C 1/00, C02F 101/32 (2006.01), заявл. № u 2016 03474 від 04.04.2016 року, Бюл. № 21 від 10.11.2016 р.

11. *Семака О. М.* Оборотна біоремедіація – комплексна технологія ліквідації наслідків розливів нафти / О. М. Семака // Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи : II Міжнар. наук.-практ. конф. (28-30 травня 2015 р., Львів) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Упр. магістрал. газопроводів «Львівтрансгаз», Акад. метрології України [та ін.]. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – С. 171–172.

References

1. Siemaka, O.M. (2013). Do pytan'nia doslidzhennia mihratsii sumishi naftoproduktiv pislia tekhnolohnoi avarii v m. Chernihiv [Research issue of migration oil after technological disaster in the city of Chernigov]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia – Proceedings of the National University of Water and Environment*, vol. 4 (64), pp. 143–149 (in Ukrainian).

2. Hrynchyshyn, N.M., Babadzhanova, O. F. (2012). Reabilitatsiia gruntiv, zabrudnenykh avariinymy vylyvamy naftoproduktiv [Rehabilitation of soil contaminated with petroleum products after emergency effusions]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy – Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, issue 22.07, pp. 43–49 (in Ukrainian).

3. Ivanytsia, V. O., Hudzenko, T. V., Bieliaieva, T. O., Bobreshova, N. S., Kozhanova, H. A., Kryvytska, T. M., Konup, I. P., Soloviov, V. I., Filatov, K. D., Baranov, O. O. (2011). *Biopreparat dlia sorbtzii i destruktzii vuhlevodniv i sposib ochyshchennia vody ta/abo gruntiv vid zabrudnen naftoiu ta naftoproduktamy [Biological product for sorption and degradation of hydrocarbons and method of cleaning water and / or soil pollution by oil and oil products]*. Patent UA №95859.

4. Soloviov, V. I. (2004). *Sorbent dlia usunennia vuhlevodniv nafty [Sorbent to remove petroleum hydrocarbons]*. Patent UA №2270.

5. Kozhanova, H. A., Soloviov, V. I. (2003). *Sektsiia sorbuiuchoho bona [Volumetric capacity with sorbent]*. Patent UA №1746.

6. Mark, D., Shaw, J., Tad Heyman (2012). *Sub-surface hydrocarbon capture apparatus and method*. Patent US 2012/0048811 A1.

7. Matthew, L., Bollinger, Nicole M. Durch, Robert, Sung Lee (2010). *Method of producing naturally purified salt products*. Patent US WO2010138583 A1.

8. Carlos Felipe Forero Monsalve (2011). *Process for the containment of oil spills*. Patent US 2011/0203996 A1.

9. Charles M. Diamond (2011). *Method and system for removing liquid hydrocarbons from contaminated soil*. Patent US 2011/0170953 A1.

10. Siemaka, O. M., Ivanova, I. M., Kotelchuk, A. L. (2016). *Prystrii dlia ochyshchennia hlybynnykh шарів hruntu vid naftoproduktiv [Device for cleaning of deep soil layers from oil]*. Patent UA №111261.

11. Siemaka, O. M. (2015). *Oborotna bioremediatsiia – kompleksna tekhnolohiia likvidatsii naslidkov rozlyviv nafty [Bioremediation – complex technology of elimination aftermath of oil spills]*. Proceedings from *Upravlinnia yakistiu v osviti ta promyslovosti: dosvid, problemy ta perspektyvy: II mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – Quality management in education and industry: experience, problems and prospects: II International Scientific Conference* (Lviv, May 28–30, 2015). Lviv: Vyd-vo Lviv. politekhniky, pp. 171-172 (in Ukrainian).

Семака Олексій Миколайович – викладач, Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Семака Алексей Николаевич – преподаватель, Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Oleksii Siemaka – lecturer, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: oleksiisiemaka@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3211-709X>

ResearcherID: H-2859-2014

**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:

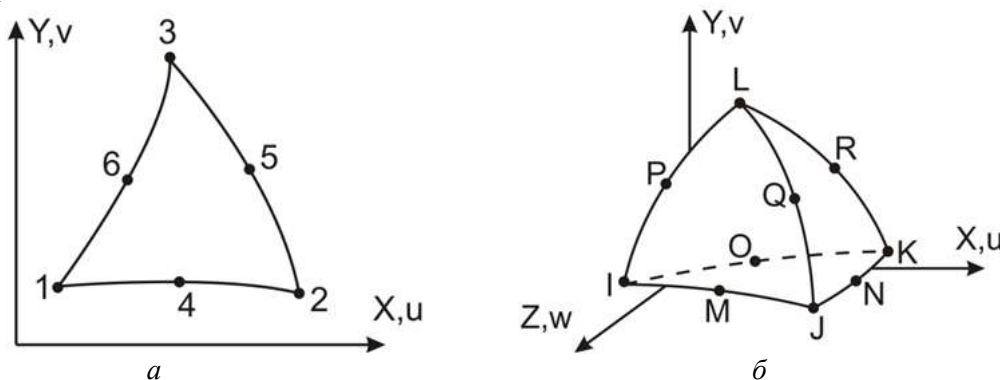


Рис. 3. Види скінченних елементів:

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	$a_{z\max}$	$n/n_{різ}$
1	20	333	0,033	11	5,32	10,17	10/6
2	40	667	0,033	13	3,04	5,83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2,01	3,78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1,64	3,07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1,59	2,84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Закінчення табл. 1».

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**, **ResearchID** 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 Юрійвна – аспірант КНУБіА, асистент кафедри землевпорядкування та кадастру, Чернівецький національний університету імені Юрія Федьковича (вул. М. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58000, Україна).

Хрищук 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 металловедении / 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: Sviaz (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).

Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт. – 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 tsyfrovyykh system avtomatychnoho keruvannia dvyhunamy postiiinoho 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>Tekhnicheskai mekhanika</i> [Technical mechanics]. 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 Укресімбанку. – Режим доступу : https://www.eximb.com/ukr/sme/everyday/lc/	<i>Dokumentarni operatsii</i> [Documentary operations]. <i>Ofitsiyni sait Ukreksimbanku</i> [Site of Ukreksimbank]. 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 perevozk 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

№ 4 (6)

Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Коректор	О.С. Смелова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко

Підписано до друку 26.12.2016. Формат 60x84/8. Друк різнографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 28,8.
Тираж 100 пр. Замовлення № 348/16.

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.