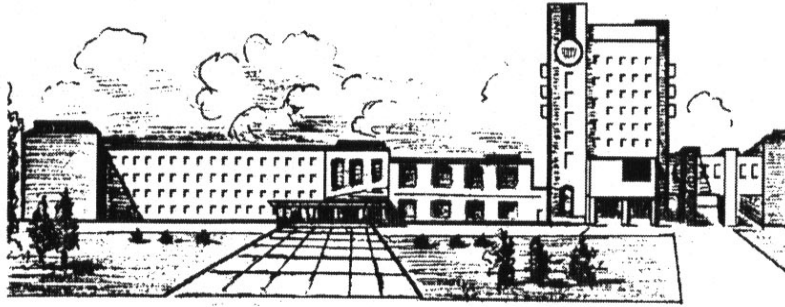


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 4(22)



Чернігів 2020

УДК 62:67.05
Т38
DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)

Друкується за рішенням вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 10 від 28.12.2020 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 р. № 975, відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

Технічні науки та технології : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Т38 Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2020. – № 4(22). – 260 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у науковому напрямі «Технічні науки» за спеціальностями: прикладна механіка, матеріалознавство, машинобудування, інформаційно-комп'ютерні технології, енергетика, електротехніка та електромеханіка, хімічні та харчові технології, будівництво та геодезія. Статті прорецензовані провідними вченими у відповідних галузях знань.

Журнал «Технічні науки та технології» буде корисним для науковців, науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 62:67.05

Головний редактор:

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка».

Заступник головного редактора:

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Члени редакційної колегії:

Прикладна механіка, матеріалознавство та машинобудування

Бойко С. В., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Дубенець В. Г., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Єрошенко А. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Кальченко В. І., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Кальченко В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Новомлинець О. О., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки.

Інформаційно-комп'ютерні технології

Азаров О. Д., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет;

Вархола Міхал, доктор технічних наук, професор, Технічний університет в Кошице (Словаччина);

Джон Н. Девис, доктор технічних наук, професор, університет Глиндор, Рексем, Великобританія;

Зайцев С. В., доктор технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

Вінніков Д., доктор технічних наук, професор, Таллінський університет технологій (Естонія);

Волков І. В., доктор технічних наук, професор, Інститут електродинаміки НАН України;

Галкін І., доктор технічних наук, професор, Ризький технічний університет (Латвія);

Гусев О. О., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Ромеро-Кадавал Е., доктор технічних наук, професор, Університет Естремадури (Іспанія).

Хімічні та харчові технології

Самохвалова О. В., кандидат технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі;

Сиза О. І., доктор технічних наук, професор, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка;

Цибуля С. Д., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Челябієва В. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Будівництво та геодезія

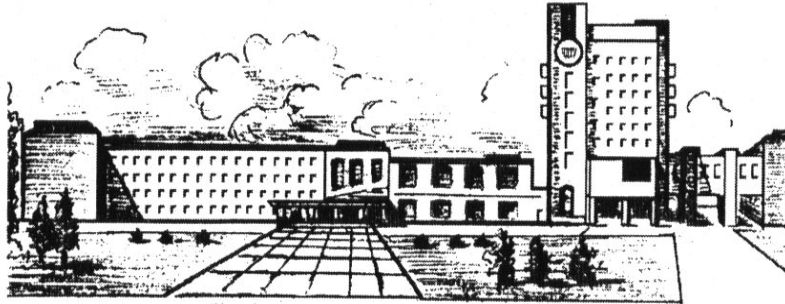
Вінніков Ю. Л., доктор технічних наук, професор, Полтавський національний технічний університет;

Шульд Р. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури.



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

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



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 4(22)

Chernihiv 2020

UDC 62:67.05
DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv Polytechnic National University (protocol № 10 dated 28.12.2020). 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 11, 2019 № 975. according to which magazine is assigned a category «B».

Technical sciences and technologies: scientific journal / Chernihiv Polytechnic National University. – Chernihiv : Chernihiv Polytechnic National University, 2020. – № 4(22). – 260 p.

This issue of the journal “Technical sciences and technologies” contains articles devoted to theoretical and experimental research in the scientific direction “Technical Sciences” by specialties: applied mechanics, materials science and machine building, information and computer technologies, power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering, chemical and food technologies, construction and geodesy. The articles are reviewed by leading scientists in relevant fields of knowledge.

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

UDC 62:67.05

Editor in chief:

Kazymyr V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

Deputy Editor in chief:

Sapon S. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University.

Members of the Editorial Board:

Applied mechanics, materials science and machine building

Boyko S. V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Bolotov H. P., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Dubenets V. H., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Yeroshenko A. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Kalchenko V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Kalchenko V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Novomlynets O. O., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Pilipenko O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, leading scientific coworker, State Research Institute of Tests and Certification of Armament and Military Technique.

Information and computer technologies

Azarov O. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University;

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

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

Zaitsev S. V., Doctor of Technical Sciences, Chernihiv Polytechnic National University.

Power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering

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

Volkov I. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine;

Galkin I., Doctor of Science, Professor, Riga Technical University, Riga, Latvia;

Husev O. O., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Denysov Yu. A., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Romero-Cadaval E., Doctor of Science, Professor, University of Extremadura, Badajoz, Spain.

Chemical and food technologies

Samokhvalova O. V., PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade;

Syza O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Taras Shevchenko National University «Chernihiv Collegium»;

Tsybulia S. D., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Cheliabiieva V. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

Construction and geodesy

Vynnykov Y. L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University;

Shults R. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv national university of construction and architecture.



ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Кальченко В., Венжега В., Сіра Н., Морочко В.</i> Дослідження динамічних характеристик процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення на верстаті ВЗ208 Ф4.....	9
<i>Кальченко В., Цибуля С., Сахно Є., Єрошенко А.</i> Процес балансування шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів у двох площинах корекції.....	19
<i>Клименко А., Анісімов В., Ситар В.</i> Розробка тонкошарових покриттів на основі фенілону для захисту поверхонь від газо- та гідроабразивного зношування.....	28
<i>Šemjon J., Hriz L., Kocan M., Voronko A.</i> Design of assembly robotized workplace	35
<i>Marcinko P., Koščák J.</i> Experimental method for verification of performance criteria of the industrial robots.....	42
<i>Tuleja P., Jobbagy B.</i> Manipulation task realised by the vacuum suction cup implementation.....	48
<i>Сапон С., Космач О.</i> Функціональне призначення технологічного оснащення для деревообробки	57

РОЗДІЛ ІІ. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Медушевський С.</i> Автоматизовані інформаційні системи як елементи системи управління якістю фармацевтичного підприємства.....	65
<i>Повхан І.</i> Особливості програмних рішень моделей логічних дерев класифікації на основі селекції наборів елементарних ознак	72
<i>Базилевич В., Прибителько М.</i> Система виявлення фейкових новин за допомогою Data Science.....	91
<i>Ткач Ю.</i> Концептуальна модель безпеки кіберпростору.....	96
<i>Роговенко А.</i> Дослідження обчислювачів прискореного обчислення даних збільшеної розрядності на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів.....	109
<i>Усік А., Якименко І.</i> Аналіз інформаційної системи підтримки освітнього процесу за допомогою технології IoT	118
<i>Кулаков Ю., Коренко Д.</i> Інжиніринг трафіку в DCN з розгалуженою топологією	123
<i>Русінов В., Іваніщев Б., Антонюк А., Волокита А., Луцький Г.</i> Способи синтезу топологічних організацій на основі кодових перетворень де Бруйна.....	131
<i>Šarga P., Šimšik D., Pavuk J.</i> Realization of photo booth by raspberry PI.....	144
<i>Vagaš M., Šeminský J.</i> Approaches for the 3D camera system image processing at automated workplaces.....	150

РОЗДІЛ ІІІ. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>Бойко С., Городній О., Касаткіна І., Долударєва Я., Вершняк Л.</i> Вітроенергетичний комплекс для зарядження акумуляторних батарей	156
<i>Михайленко В., Чуняк Ю., Бачинський В.</i> Аналіз процесів у колах із перетворювачами трифазної напруги в постійну з дванадцятизонним регулюванням напруги.....	163
<i>Kelemen M., Ligušová J., Liguš J., Maxim V.</i> Additional modules for programmable logic controller based training stands	170
<i>Kelemenová T., Benedik O.</i> Displacement measurement using the hall effect sensors	177

<i>Miková L.</i> Controller design for dc motor.....	184
<i>Ráky R., Galajdová A.</i> Concept for physiological function monitoring with wearable sensors.....	190
<i>Захарченко Д., Степенко С.</i> Огляд та обґрунтування вибору накопичувачів електроенергії для роботи електроенергетичних об'єктів.....	198

РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Трембус І., Семененко Н.</i> Одержання целюлози із пшеничної соломи в системі оцтова кислота – пероксид водню – етиловий спирт-вода	210
--	-----

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

<i>Іванишин В., Бугай В., Корзаченко М.</i> Польові інженерно-геологічні вишукування під будівництво десятиповерхових житлових будинків на вулиці Незалежності в місті Чернігові.....	222
<i>Крячок С.</i> Моніторинг місцевості та висотних перешкод у районах аеропорту	230
<i>Бойко С., Іващенко С., Єрошенко А.</i> Відновлення дерев'яних прикрас фасадів старовинних будинків Чернігова	238
<i>Бойко О.</i> Перспективи використання геоінформаційних технологій в аеропортах України для адміністративно-господарського управління.....	247

СВІТЛИЙ ПАМ'ЯТІ ВИДАТНОГО УЧЕНОГО ЛИТВИНОВА ВІТАЛІЯ ВАСИЛЬОВИЧА	258
--	------------

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ.....	259
--	------------

CONTENT

SECTION I. APPLIED MECHANICS, MATERIALS SCIENCE
AND MACHINE BUILDING

<i>Kalchenko V., Venzhega V., Sira N., Morochko V.</i> Investigation of dynamic characteristics of the process of grinding cylindrical surfaces by the periphery of the oriented circuit in the mode of blunting on the VZ208F4 machine	9
<i>Kalchenko V., Tsybulia S., Sakhno E., Yeroshenko A.</i> The process of balancing the spindles of grinding and high-speed milling machines in two planes of correction	19
<i>Klymenko A., Anisimov V., Sytar V.</i> Development of thin-layer coatings based on phenylon to protect surfaces from gas and hydroabrasive wear	28
<i>Semjon J., Hriz L., Kocan M., Voronko A.</i> Design of assembly robotized workplace.....	35
<i>Marcinko P., Koščák J.</i> Experimental method for verification of performance criteria of the industrial robots.....	42
<i>Tuleja P., Jobbagy B.</i> Manipulation task realised by the vacuum suction cup implementation.....	48
<i>Sapon S., Kosmach O.</i> Functional assignment of technological accessories for woodworking.....	57

SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Medushevskiy S.</i> Automated information systems as elements of the pharmaceutical enterprise quality management system.....	65
<i>Povkhan I.</i> Features of software implementation of models of logical classification trees based on selection of sets of elementary features	72
<i>Bazylevych V., Prybytko M.</i> Fake news detection system with the help of Data Science.....	91
<i>Tkach Yu.</i> Conceptual model of cyber space security	96
<i>Rohovenko A.</i> Research of computers for accelerated calculation of high bit depth data based on a one-dimensional cascade of constructive modules	109
<i>Usik A., Yakymenko I.</i> Analysis of the information system to support of the educational process using IoT technology	118
<i>Kulakov Yu., Korenko D.</i> Traffic engineering in DCN with a ramified topology	123
<i>Rusinov V., Ivanishchev B., Antoniuk A., Volokyta A., Loutskii H.</i> Methods of topological organization synthesis based on de Bruijn code transformations.....	131
<i>Šarga P., Šimšík D., Pavuk J.</i> Realization of photo booth by raspberry PI.....	144
<i>Vagaš M., Šeminský J.</i> Approaches for the 3D camera system image processing at automated workplaces.....	150

SECTION III. POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING
AND ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

<i>Boiko S., Gorodny O., Kasatkina I., Doludarieva Ya., Vershniak L.</i> Wind power complex for loading of storages batteries.....	156
<i>Mykhailenko V., Chunya Ju., Bachinskiy V.</i> Analysis of processes in circuit with a three-phase-to-DC converter with twelve zoned voltage regulations.....	163
<i>Kelemen M., Ligušová J., Liguš J., Maxim V.</i> Additional modules for programmable logic controller based training stands.....	170
<i>Kelemenová T., Benedik O.</i> Displacement measurement using the hall effect sensors.....	177

<i>Miková L.</i> Controller design for dc motor.....	184
<i>Rákay R., Galajdová A.</i> Concept for physiological function monitoring with wearable sensors.....	190
<i>Zakharchenko D., Stepenko S.</i> Review and justification of the selection of an electric energy storage device for power facilities robotics.....	198

SECTION IV. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Trembus I., Semenenko N.</i> Obtaining pulp from wheat straw in a two-stage system “acetic acid – hydrogen peroxide – water – ethanol”	210
---	-----

SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY

<i>Ivanyshyn V., Buhay V., Korzachenko M.</i> Field-based engineering geological investigation for the construction of ten-story residential buildings on nezavisimosti street in Chernihiv.....	222
<i>Kryachok S.</i> Monitoring of terrain and high-altitude obstacles in airport areas.....	230
<i>Boiko S., Ivashchenko S., Yeroshenko A.</i> Restoration of wooden decorations of facades of ancient buildings in Chernihiv	238
<i>Boiko O.</i> Prospects for using geoinformation technologies in airports of Ukraine for administrative and economic management	247

IN MEMORY OF OUTSTANDING ACADEMICIAN LYTVYNOV VITALII VASYLOVYCH	258
---	-----

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES	259
--	-----

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-9-18

Володимир Кальченко, Володимир Венжега, Наталія Сіра, Володимир Морочко

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ПЕРИФЕРІЄЮ ОРІЄНТОВАНОГО КРУГА В РЕЖИМІ ЗАТУПЛЕННЯ НА ВЕРСТАТІ В3208 Ф4

Актуальність теми дослідження. Велика кількість деталей у машинобудуванні, що мають поверхні обертання, отримують остаточну точність розмірів, форми та шорсткість на операціях круглого шліфування. Дослідження параметрів шліфування зі схрещеними осями круга й деталі в режимі затуплення є актуальною задачею, оскільки сприятиме підвищенню продуктивності обробки, точності виробів і стійкості інструментів та забезпечуватиме вищу конкурентоспроможність виробів у різних галузях машинобудування.

Постановка проблеми. На операціях остаточного шліфування бажано створювати умови й режими, що забезпечують роботу круга в режимі переважного затуплення або часткового самозаточування, коли відбувається його незначний розмірний знос. Цей режим характеризується, з одного боку, підвищеним затупленням абразивних зерен і засолюванням поверхні круга, а з іншого – сприяє збереженню форми круга після правки, тому необхідно провести динамічні дослідження, результати яких враховувати при побудові технологічного процесу шліфування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковою школою під керівництвом доктора технічних наук, професора В. І. Кальченка досліджено способи круглого шліфування в режимі самозаточування зі схрещеними осями деталі й заготовки та запропоновано способи підвищення стійкості абразивних кругів та точності обробки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Дослідження динамічних характеристик процесу шліфування в режимі затуплення на верстаті В3208 Ф4.

Постановка завдання. Забезпечити високі показники точності розмірів, низькі шорсткість та хвилястість оброблених поверхонь при шліфуванні в режимі затуплення. Провести динамічний розрахунок шпиндельного вузла та встановити області його безрезонансної роботи, побудувати амплітудно-фазово-частотну характеристику (АФЧХ) і визначити динамічну стійкість системи.

Виклад основного матеріалу. Розрізняють шліфування в режим самозаточування і переважного затуплення інструмента. У режимі самозаточування зношування шліфувального круга призводить до зміни його вихідної (правильної) геометричної форми, що, у свою чергу, інтенсифікує вібрації технологічної системи, зменшення точності розмірів і утворення на оброблюваних поверхнях деталей хвилястості, тому режим самозаточування використовується переважно на операціях попереднього шліфування. На операціях остаточного шліфування бажано створювати умови й режим, що забезпечують роботу круга в режимі переважного затуплення або часткового самозаточування, коли забезпечується його незначний розмірний знос.

Висновки відповідно до статті. У роботі досліджено динамічні характеристики процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення на верстаті В3208 Ф4. Проведені дослідження дають змогу мінімізувати сили різання, встановити області безрезонансної роботи верстата, збільшити інтервали між правками та стійкість шліфувального круга, забезпечити вищу точність та якість оброблених поверхонь, а також підвищити продуктивність процесу обробки.

Ключові слова: кругле шліфування; шліфування периферією орієнтованого круга; шліфування в режимі затуплення; динамічний розрахунок; АФЧХ.

Рис.: 2. Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. У виробіках машинобудування поширена велика кількість деталей типу валів та осей із циліндричними поверхнями, остаточна точність яких формується на фінішних операціях круглого шліфування. Використання способу шліфування зі схрещеними осями круга та деталі має переваги над способом шліфування при паралельних осях інструменту та деталі, що полягають у фіксації формоутворюючої ділянки абразивного інструменту, рівномірному розподілу припуску та зносу вздовж профілю круга. Дослідження процесу шліфування в режимі затуплення круга з визначенням динамічних характеристик процесу є актуальним завданням, оскільки сприятиме підвищенню стійкості інструменту, точності виробів та продуктивності обробки.

Постановка проблеми. Дослідити процес круглого шліфування на верстаті В3208 Ф4 орієнтованим інструментом у режимі затуплення шліфувального круга та визначити при цьому основні динамічні характеристики. Провести динамічний розрахунок шпиндельного вузла і встановити області його безрезонансної роботи, визначити АФЧХ і форми коливань системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] досліджено основні причини затуплення і засолювання шліфувальних кругів, що призводять до втрати ріжучої здатності абразивного інструменту, збільшення сил різання, появи вібрацій.

Л. Худобін і М. Белов [2], проаналізувавши кінетику стану робочих поверхонь кругів із традиційних абразивних матеріалів (електротрокорундів і карбідів кремнію) при шліфуванні в режимі затуплення виділили три періоди роботи кругів: сколювання вершин, затуплення зерен та подальше засолювання робочої поверхні.

Отримати вищі показники точності розмірів, низькі шорсткість і хвилястість оброблених поверхонь можна в процесі роботи шліфувальних кругів у режимі затуплення. Різальні та деформуючі зерна міцно утримуються зв'язкою в інструменті, що дає можливість зберегти профіль інструмента, який формується при правці [3].

При шліфуванні циліндричних поверхонь деталей із паралельними осями деталі та інструмента задіяна не вся висота шліфувального круга, а лише частина, яка дорівнює подачі деталі на оберт круга. Відбувається нерівномірний знос інструмента та погіршення якості й точності поверхневого шару деталі. Причиною цього погіршення є нестабільне положення формуютьоючої ділянки круга. Висота зношеної ділянки інструмента в кожній точці його робочої поверхні залежить від подачі та висоти припуску [4]. У вказаному способі знижується продуктивність обробки внаслідок задіяності в процесі шліфування не всієї висоти круга, а лише її невеликих частин при невідомому розташуванні формуютьоючої ділянки.

У [5] запропоновано спосіб круглого шліфування з поздовжньою подачею орієнтованим кругом. Фіксація формуютьоючої ділянки круга здійснюється за рахунок повороту інструменту на кут відносно осі обертання деталі і є чітко визначеною. Вона розташована на осі повороту круга. Але в процесі зйому припуску кут його повороту залежить від величини припуску.

Німецькою фірмою Junker розроблено новий спосіб обробки циліндричних і торцевих поверхонь, при якому кути осі круга й деталі схрещуються під невеликим кутом [6; 7]. Використання торцевої ділянки інструменту дозволяє значно збільшити розміри плями контакту інструмента із заготовкою. Число обертів заготовки вибирається в ряді випадків більшим за число обертів шліфувального круга. Досягається подача на оберт близько 0,01, а швидкість шліфування – до 160 м/с.

У роботі [8] було проведено дослідження динамічних характеристик верстата В3 208 Ф4 при шліфуванні периферією орієнтованого круга в режимі самозаточування. Отримані показники статичної податливості, максимальної резонансної амплітуди, коефіцієнта динамічності, резонансної частоти, параметру який характеризує вібростійкість системи.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Кругле шліфування периферією круга зі схрещеними осями інструмента та деталі дає можливість фіксації формуютьоючої ділянки абразивного інструменту й забезпечує рівномірний розподіл припуску вздовж профілю круга. Завдяки цьому знос його стає більш рівномірним і підвищується продуктивність обробки. Для забезпечення високих техніко-економічних показників обробки в режимі затуплення необхідно дослідити та врахувати динамічні характеристики системи.

Мета статті. Метою цієї роботи є проведення динамічного розрахунку шпіндельного вузла верстата В3208 Ф4 при шліфуванні в режимі затуплення, встановлення області його безрезонансної роботи, визначення АФЧХ і форми коливань системи для забезпечення високих показників точності розмірів, низької шорсткості та хвилястості оброблених поверхонь.

Виклад основного матеріалу. Існує два способи круглого шліфування циліндричних поверхонь деталей: у режимі самозаточування і в режимі затуплення круга. Дослідимо режим затуплення.

Абразивні інструменти при шліфуванні піддаються періодичному й перманентному силовому, тепловому і фізико-хімічному впливу, у результаті якого їхні робочі поверхні зношуються, затупляються і засолюються [1; 2].

Під зношуванням розуміють поступове відділення часток робочого шару інструменту, що призводить до зменшення його розмірів і маси.

При затупленні змінюються геометричні параметри його робочої поверхні внаслідок зношування абразивних зерен, що призводить до зниження ріжучої здатності інструменту.

Зношування шліфувальних кругів відбувається переважно за рахунок: механічного стирання вершин ріжучих крайок зерен і появи на них майданчиків зносу; викришування (сколювання) часток абразивного зерна під дією силових навантажень або (і) циклічного чергування їх; швидкого нагрівання і охолодження, що створює термоудари; адгезійного зносу зерен, пов'язаного з періодичним відривом налиплого на них металу заготовки разом з частинками абразиву й утворенням на зернах дрібних кратерів; дифузійного зношування, що полягає в розчиненні абразивних зерен у матеріалі оброблюваної заготовки або (і) утворення їх хімічних з'єднань; окислення зерен киснем повітря при високій температурі; виривання зі зв'язки цілих зерен.

Під засоленням розуміють процес перенесення на робочу поверхню абразивного інструменту частинок шламу (частинки абразиву, зв'язки та шліфувальної стружки) у процесі обробки. Однак частинки шламу здатні проникнути й утриматися в просторі між абразивним зерном і в порах круга, а на абразивних зернах налипає матеріал оброблюваної заготовки.

Затуплення і засолювання є основною причиною втрати ріжучої здатності абразивного інструменту. Залежно від переважання того чи іншого виду зносу розрізняють режим самозаточування і переважного затуплення інструмента. У режимі самозаточування переважає процес сколювання абразивних зерен і виривання їх зі зв'язки. При цьому ріжуча здатність шліфувального круга і теплосилова напруженість процесу шліфування з часом практично не змінюються, проте зношування шліфувального круга призводить до зміни його вихідної (правильної) геометричної форми, що, у свою чергу, інтенсифікує вібрації технологічної системи, призводить до збільшення похибок розмірів і утворення на оброблюваних поверхнях деталей хвилястості, тому режим самозаточування використовується переважно на операціях попереднього шліфування.

На операціях остаточного шліфування бажано створювати умови й режим, що забезпечують роботу круга в режимі переважного затуплення або часткового самозаточування, коли забезпечується його незначний розмірний знос. Цей режим характеризується утворенням майданчиків зносу на ріжучих крайках зерен із налипанням на ці майданчики частинок металу заготовки. Ріжуча здатність шліфувального круга зі збільшенням його напрацювання зменшується, унаслідок чого зростають теплосилова напруженість процесу й інтенсивність вібрацій, погіршується якість деталей. Для відновлення ріжучої здатності абразивних зерен круги піддають періодичній правці. З метою забезпечення сталості ріжучої здатності абразивного інструмента застосовують безперервну правку.

Баланс між сколюванням і вириванням зерен і їх затупленням визначається теплосиловою напруженістю процесу шліфування і міцнісними властивостями самих зерен і зв'язки.

Зі збільшенням робочої швидкості круга і його твердості зростають середні значення сил, що припадають на одне зерно, при яких можливо руйнування зерен або виривання їх зі зв'язки (критичне навантаження). З підвищенням твердості круга процес шліфування з переважаючим самозаточуванням переходить у «змішаний» режим, потім – у режим із переважаючим затупленням, а при обробці заготовок із пластичних і в'язких матеріалів спостерігається інтенсивне засолювання робочої поверхні шліфувального круга.

Чим менша зернистість шліфувального круга, тим вужчим стає діапазон твердості круга, при якому можливий «змішаний» режим його роботи. При збільшенні інтенсивності знімання металу кругами малої твердості режим переважного затуплення круга змінюється змішаним режимом, а потім переходить у режим самозаточування. При шліфуванні заготовок із пластичних і в'язких матеріалів кругами високої твердості, змішаний режим змінюється режимом засолювання.

При шліфуванні заготовок кругами з електрокорунду і карбїду кремнію мають місце всі види зношування, а їхня питома вага може змінюватися залежно від умов обробки; шліфувальні круги з ельбору працюють переважно в режимі самозаточування.

Інтенсивність механічного стирання зерен значною мірою визначається міцністю і твердістю матеріалу оброблюваної заготовки.

При шліфуванні заготовок із корозійностійких і жароміцних сталей і сплавів інтенсивність затуплення абразивних зерен у кілька разів вище, ніж при шліфуванні заготовок із конструкційних вуглецевих і низьколегованих сталей, що пояснюється більш високою міцністю і твердістю цих матеріалів при високих температурах.

У зоні шліфування, яка характеризується наявністю високотемпературної силової взаємодії між шліфувальним кругом і заготовкою, активним рідким і газовим середовищем, створюються передумови для протікання хімічних реакцій, що призводять до утворення продуктів, які блокують або активізують безпосередню взаємодію абразивного зерна і матеріалу заготовки. Дифузійне зношування абразивних зерен домінує при шліфуванні заготовок із хімічно активних матеріалів, до числа яких відносяться, зокрема, алюмінієві й титанові сплави.

Л. Худобін і М. Белов [2], проаналізувавши кінетику стану робочих поверхонь кругів із традиційних абразивних матеріалів (електротрокорундів і карбїдів кремнію) при шліфуванні заготовок з корозійно стійких сталей, виділили три періоди роботи кругів: 1) сколювання вершин абразивних зерен, руйнування зерен з утворенням дрібних осколків і виривання неміцно закріплених зерен із зв'язки в початковий період шліфування після правки круга; 2) затуплення зерен із подальшим налипанням на їх вершини частинок металу заготовки, руйнування зерен з утворенням осколків і виривання затуплених і засмальцьованих зерен зі зв'язки під дією сили шліфування; при цьому пори круга частково заповнюються шламом; 3) подальше засолювання робочої поверхні шліфувального круга, що полягає в заповненні шламом простору між зернами, та призводить до повної втрати кругом ріжучої здатності.

Описані вище явища при шліфуванні в режимі затуплення можуть призвести до збільшення сил різання, появи вібрацій технологічної системи верстат-пристосування –інструмент-деталь, що, у свою чергу, знижує продуктивність та точність обробки. Тому дуже важливо провести дослідження динамічних характеристик технологічної системи та побудувати АФЧХ.

Динамічні параметри шпиндельного вузла безпосередньо впливають на точність форми обробленої поверхні, її шорсткість, інтенсивність зносу ріжучого інструменту. Тому необхідно провести динамічний розрахунок шпиндельного вузла і встановити області його безрезонансної роботи, визначити АФЧХ і форми коливань системи.

Початкове диференціальне рівняння вимушених коливань стержня-шпинделя, запишеться у вигляді [8].

$$EJ \cdot \frac{\partial^4 \vartheta}{\partial z^4} + k\vartheta + m_0 \cdot \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial t^2} = P_i \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (1)$$

де EJ – жорсткість стержня при згині: E – модуль Юнга, МПа; J – момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
 ϑ – поперечне переміщення стержня на відстані z в момент часу t , мм;
 k – коефіцієнт постелі;
 m_0 – маса одиниці довжини стержня, кг;
 P_n – сила збурення, Н;
 ω – частота вимушених коливань системи, Гц.

Із числових методів розрахунку пружних систем, які описуються лінійними диференціальними рівняннями, одним із найперспективніших, поряд із методом кінцевих елементів, є метод початкових параметрів у матричному формулюванні. Він дозволяє приводити динамічні характеристики шпиндельних вузлів і управління динамічним впливом до розрахунку складної ланцюгової системи з багаторазово повторюваним циклом алгебраїчних операцій, що відповідають переходу від однієї ділянки системи до іншої, і успішно застосувати ЕОМ.

Розрахункова модель вузла розглядається як пружна ступінчаста балка довжиною L на пружнодемпфуючих опорах. За допомогою N радіальних перетинів, включаючи крайні, балка розділена на $(N-1)$ ділянок постійного перетину, в одному з яких діє збурювальна сила P_k . При цьому кожна i -та ділянка має розподілену масу m_{0i} та постійну жорсткість на згин EJ , а деталі, змонтовані на шпинделі, розглядаються як зосереджені маси m_i на межі ділянок із моментами інерції J_i . Розглянута модель складається з 13 ділянок, розділених 14 перерізами (рис. 1). Для кожної ділянки задається довжина L_i , середній діаметр (зовнішній D_i та внутрішній d_i), розподілена маса m_{0i} , демпфірування в матеріалі b_i та змінна жорсткість EJ_i .

У кожному окремому перерізі враховується один або кілька факторів, а саме:

- 1) зміна зовнішнього D_i або внутрішнього d_i діаметрів валів, мм;
- 2) розміщення зосередженої опори;
- 3) зосереджена масою m (кг) та момент інерції J (Н/м);
- 4) зовнішній зосереджений момент (Н/м) або сила (Н).

У розрахунковій моделі шпинделя, підшипники розглядаються як пружно-демпфуючі основи.

Параметри в початковому Y_0 та кінцевому Y_N перерізах шпинделя можна зв'язати за допомогою перехідних матриць його ділянок з урахуванням сили, яка діє в i -му перерізі у вигляді такого матричного рівняння:

$$[Y_N] = [A] \cdot [Y_0] + [A_{Pn}] \cdot [\psi_n], \quad (2)$$

де $[Y_N]$, $[Y_0]$ – матриці-стовпці комплексних параметрів у N -му і 1 -му перерізах;

$[A]$ – матриця добутку всіх перехідних матриць для ділянок балки;

$[A_{Pn}]$ – матриця добутку всіх перехідних матриць для ділянок балки, розташованих

після n -го перерізу, в якому прикладена сила P_n .

Матриця зовнішнього навантаження $[\psi_n]$ в n -му перерізі має вигляд:

Матриця $[Y_i]$ включає такі комплексні величини:

$$[Y_i] = \begin{bmatrix} y_i \\ \varphi_i L \\ \frac{M_i L^2}{EJ_i} \\ \frac{Q_i L^3}{EJ_i} \end{bmatrix} \quad (4)$$

де y_i – комплексна амплітуда прогину, м;

φ_i – комплексна амплітуда кута повороту, °;

M_i – комплексна амплітуда моменту сили, Н·м;

Q_i – комплексна амплітуда поперечної сили, Н;

L – довжина шпинделя, м;

EJ_i – жорсткість на згин i -го перерізу ротора, МПа·кг·м².

При відомих початкових параметрах із використанням перехідних матриць стержневих конструкцій можна знайти параметри в будь-якому перерізі. Перехідні матриці ділянок та перерізів шпинделя, їхні параметри залежать від прийнятої розрахункової моделі шпинделя.

За силовим зовнішнім впливом, який діє в i -му перерізі, знаходять частотні передаточні функції вказаних параметрів, наприклад, АФЧХ у i -му перерізі шпинделя буде визначатися як:

$$W_{P_n}(i\omega) = \frac{y_i(i\omega)}{P_n(i\omega)} \quad (5)$$

$$W_{P_n}(i\omega) = Re(\omega) + i \cdot Im(\omega) \quad (6)$$

Звідси можна визначити АФЧХ ротора:

$$A(\omega) = \sqrt{Re^2(\omega) + Im^2(\omega)}, \quad \varphi(\omega) = \arctg \frac{Im(\omega)}{Re(\omega)} \quad (7)$$

За відомими параметрами y та φ в перерізах можна дослідити основні форми коливань шпинделя при різних частотах.

Для розрахунку динамічних характеристик шпиндельного вузла використовувалась програма SPIDWIN, розроблена на кафедрі автомобільного транспорту та галузевого машинобудування.

У результаті розрахунків отримані динамічні характеристики шпиндельного вузла, а саме резонансні частоти коливань шпиндельного вузла, параметри АФЧХ (значення вектора динамічної податливості у прямокутній і полярній системах координат), а також форми коливань пружної системи, на резонансних частотах обертання шпинделя. Динамічна податливість визначалася за відомою формулою

$$W_{yc} = W_1^1 = \frac{Y_1}{P_1}(i\omega), \quad (8)$$

де Y_1 – переміщення системи в цьому перерізі 4;

P_1 – сила прикладена в цьому ж перерізі.

АФЧХ являє собою відношення переміщення системи в перерізі i -му перерізі до сили, прикладеної в тому ж перерізі, і характеризується відповідними показниками.

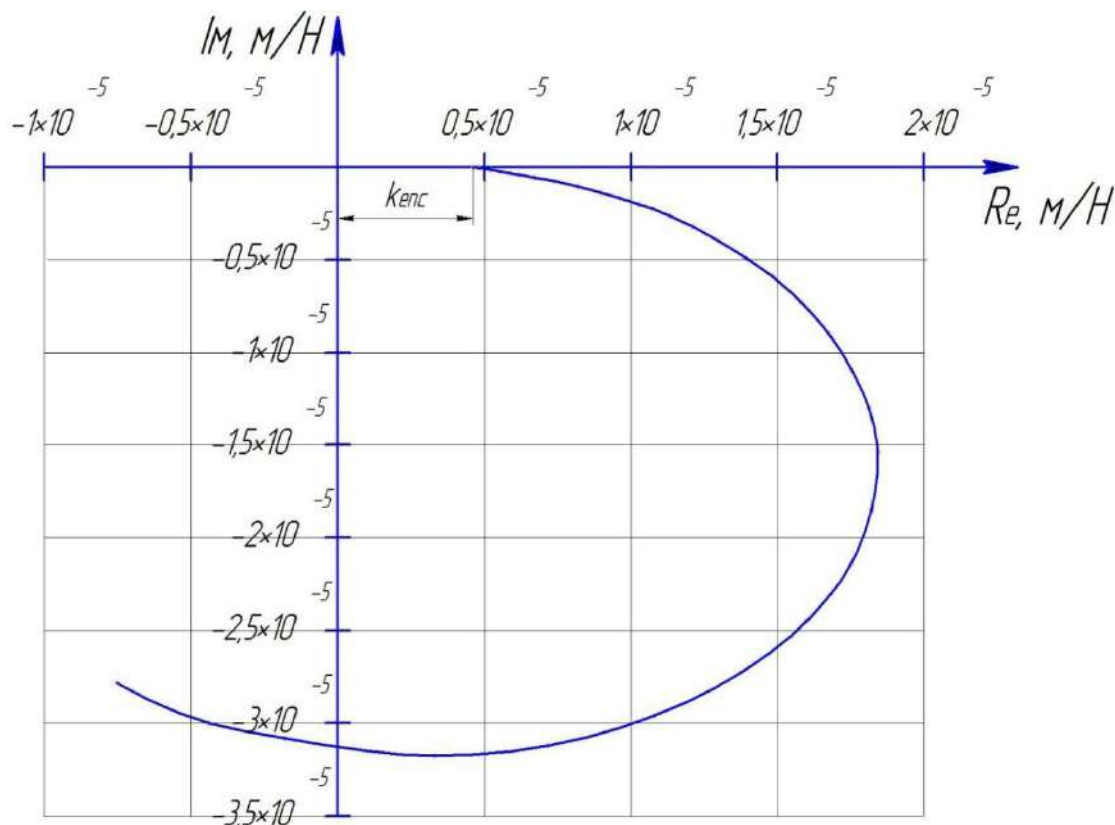


Рис. 2. АФЧХ шліфувальної бабки верстата В3208-Ф3

Згідно з побудованою АФЧХ, отримані такі динамічні показники шпиндельного вузла шліфувальної бабки:

- 1) статична податливість $k_{enc} = 0,32$ мкм/даН;
- 2) максимальна резонансна амплітуда $A_{rmax} = 2,3$ мкм/даН;
- 3) коефіцієнт динамічності $K_d = \frac{A_p}{k_{enc}} = \frac{3,14}{0,482} = 4,8$;
- 4) резонансні частоти $fp_1 = 497,6$ Гц, $fp_2 = 495,3$ Гц;
- 5) параметр, який характеризує вібростійкість системи $Re_{enc}^m = 1,75$ мкм/даН.

Висновки відповідно до статті. Проведені динамічні дослідження процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення на верстаті В3208 Ф4 свідчать про динамічну стійкість системи. За результатами побудованої АФЧХ і отриманими розрахунками встановлено області безрезонансної роботи верстата та інші показники динамічності. Проведені дослідження дають змогу мінімізувати сили різання, забезпечити вищу точність, якість та продуктивність обробки, підвищити стійкість інструменту.

Список використаних джерел

1. Худобин Л. В., Унянин А. Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. Ульяновск : УЛГТУ. 2007. 298 с.
2. Худобин Л. В., Белов М. А. Шлифование заготовок из коррозионностойких сталей с применением СОЖ. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та. 1989. 148 с.
3. Шахбазов Я. О., Широков В. В., Широков О. В., Паламар О. О. Технологічне забезпечення процесу шліфування. *Поліграфія і видавнича справа*. 2018. № 1(75). С. 75-81.
4. Кальченко В. І., Кальченко В. В., Єрошенко А. М., Сіра Н. М. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2016. № 4. С. 80-87.

5. Кальченко В. И. Способ круглого шлифования с продольной подачей. А.с. 1234163 СССР, МКИ В24В 5/04. Авт. Изобр. № 3813415/25-08. Заявлено 20.11.84. Опубл. 30.05.86. Бюл. № 20. 4 с.
6. Chang He Li, Ling Yun Qi, Hua Yang Zhao. Application and Development of High-Efficiency Abrasive Finishing. *Advanced Materials Research*. 2011. Pp. 189-193
7. Yali Hou, Changhe Li, Yan Zhou. Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel. *Engineering*. 2010. № 2(3). Pp. 184-189.
8. Сіра Н. М. Підвищення ефективності шліфування циліндричних, ступінчастих та криволінійних поверхонь обертання зі схрещеними осями круга та деталі : дис. ... канд. техн. наук / Чернігівський національний технологічний університет. Чернігів, 2017. 176 с.

References

1. Khudobin, L. V., Unyanin, A. N. (2007). *Minimizatsiia zasalivaniia shlifovalnykh kruhov [Minimization of salting of grinding wheels]*. UISTU.
2. Khudobin, L. V., Belov, M. A. (1989). *Grinding of preparations from corrosion-resistant steels with use of coolant [Shlyfovanye zahotovok yz korrozyonnoostoikykh stalei s pryomenenyem SOZh]*. Saratov Publishing House.
3. Shahbazov, Y. O., Shirokov, V. V., Shirokov, O. V., Palamar, O. O. (2018). Tekhnologichne zabezpechennia protsesu shlifuvannia [Technological support of grinding process]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava – Printing and publishing*, 1(75), pp. 75-81.
4. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Eroshenko, A. M., Sira, N. M. (2016). Doslidzhennia sposobu shlifuvannia valkiv strichkoprokatnykh staniv zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta detali [Investigation of the method of grinding rolls of belt rolling mills with crossed tool axes and parts]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu – Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 4, pp. 80-87.
5. Kalchenko, V. I. (1986). *Sposob kruhloho shlyfovanyia s prodolnoi podachei [Round grinding method with longitudinal feed]*. A.s. 1234163 USSR, МКИ В24В 5/04.
6. Chang He Li, Ling Yun Qi, Hua Yang Zhao. (2011). Application and Development of High-Efficiency Abrasive Finishing. *Advanced Materials Research*, pp. 189-193.
7. Yali Hou, Changhe Li, Yan Zhou. (2010). Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel. *Engineering*, 2(3), pp. 184-189.
8. Sira, N. M. (2017). *Pidvyshchennia efektyvnosti shlifuvannia tsylindrychnykh, stupinchastykh ta kryvoliniinykh poverkhon obertannia zi skhreshchenymy osiamy kruha ta detail [Improving the efficiency of grinding cylindrical, stepped and curved surfaces of rotation with crossed axes of a circle and a part]*. [PhD dissertation, Chernihiv National Technological University].

UDC 621.923.42

Volodymyr Kalchenko, Volodymyr Venzhega, Nataliia Sira, Volodymyr Morocho

INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE PROCESS OF GRINDING CYLINDRICAL SURFACES BY THE PERIPHERY OF THE ORIENTED CIRCUIT IN THE MODE OF BLUNTING ON THE VZ208 F4 MACHINE

Urgency of the research. A large number of parts in mechanical engineering that have surfaces of rotation, get the final accuracy of size, shape, and roughness in circular grinding operations. The study of grinding parameters with crossed axes of the wheel and the part in the blunting mode is an urgent task, as it will increase processing productivity, product accuracy and tool stability and ensure higher competitiveness of products in various fields of mechanical engineering.

Target setting. In the final grinding operations, it is desirable to create conditions and mode that ensure the operation of the wheel in the mode of predominant blunting or partial self-sharpening, when there is a slight dimensional wear. This mode is characterized on the one hand by increased blunting of abrasive grains and salinization of the surface of the wheel and on the other helps to preserve the shape of the wheel after editing, so it is necessary to conduct dynamic studies whose results are taken into account when constructing the grinding process.

Actual scientific researches and issues analysis. Analysis of recent research and publications. Scientific school under the leadership of Dr., Prof. Kalchenko VI the method of circular grinding in the mode of self-sharpening with crossed axes of a detail and preparation is investigated and the ways of increase of stability of abrasive wheels and accuracy of processing are offered.

Uninvestigated parts of general matters defining. Selection of previously unexplored parts of the general problem. Investigation of the dynamic characteristics of the grinding process in the blunting mode on the machine VZ208 F4.

The purpose of the article. To provide high indicators of the accuracy of the sizes, low roughness and undulation of the processed surfaces when grinding in the blunting mode. Carry out a dynamic calculation of the spindle assembly and establish the areas of its resonant operation, construct the amplitude phase-frequency response (AFCH) and determine the dynamic stability of the system.

The presentation of the main material. There are grinding in the mode of self-sharpening and the predominant blunting of the tool. In the self-sharpening mode, the wear of the grinding wheel leads to a change in its original (correct) geometric shape, which, in turn, intensifies the vibrations of the process system, reduces dimensional accuracy and the formation of corrugated parts on the machined surfaces. In the final grinding operations, it is desirable to create conditions and mode that ensure the operation of the wheel in the mode of predominant blunting or partial self-sharpening, when it provides a slight dimensional wear.

Conclusions and suggestions. The dynamic characteristics of the process of grinding cylindrical surfaces by the periphery of the oriented circle in the mode of blunting on the machine VZ208 F4 are investigated in the work. The conducted researches allow to minimize cutting forces, to establish areas of resonant work of the machine, to increase intervals between edits and stability of a grinding wheel, to provide higher accuracy and quality of the processed surfaces, and also to increase productivity of processing.

Keywords. circular grinding, grinding by the periphery of the oriented circle, grinding in the blunting mode, dynamic calculation, AFCH.

Fig.: 2. References: 8.

Кальченко Володимир Віталійович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in Scientific and Pedagogical Work, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkalchenko74@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

ResearcherID: G-6752-2014

Венжега Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Venzhega Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vivenzhega@gmail.com

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

ResearcherID: H-3560-2014

Сіра Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sira Nataliia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: nnseraya@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6242-5210>

ResearcherID: K-2658-2017

Морочко Володимир Вікторович – магістр, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Morochko Volodymyr – master, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6160-2812>

УДК 621.92

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-19-27

Віталій Кальченко, Сергій Цибуля, Євгеній Сахно, Андрій Єрошенко
**ПРОЦЕС БАЛАНСУВАННЯ ШПИНДЕЛІВ ШЛІФУВАЛЬНИХ
ТА ШВИДКІСНИХ ФРЕЗЕРУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ
У ДВОХ ПЛОЩИНАХ КОРЕКЦІЇ**

Актуальність теми дослідження. У зв'язку зі створенням нових видів металообробного устаткування та інших машин, що забезпечують збільшення продуктивності праці, виникає проблема центрування та балансування неврівноважених технологічних систем при їхньому виготовленні й режимній зміні дисбалансів під час експлуатації. Нині для більшості шліфувальних верстатів та верстатів для швидкісного фрезерування передбачається балансування шліфувального кола та фрезерного інструменту в ручному режимі. Недоліком такого способу є необхідність у зупинці обладнання чи зміні технологічного та експлуатаційного режимів роботи. Більш ефективним способом є вбудова балансуєчих пристроїв у кінематичну структуру шліфувального чи фрезерного верстата та проведення балансування в автоматичному режимі під час ходу машини.

Постановка проблеми. При реалізації автоматичного балансування шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів на ходу машини у двох площинах корекції необхідна дорога, складна вібровимірвальна апаратура, електронні блоки управління та порівняння коливань машин. До того ж технологія автоматичного балансування на ходу машини для компенсації моментної та динамічної неврівноваженості вимагає вирішення проблеми зниження залишкового дисбалансу з одночасним підвищенням надійності привода та інших пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі було розглянуто останні публікації з цієї теми, які представлено у відкритому доступі, включно з мережею Інтернет.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Значна частка існуючих на сьогодні підходів щодо зрівноважування шпинделів шліфувальних та фрезерувальних верстатів у процесі експлуатації вимагає зупинки машини й балансування в ручному режимі. При визначенні навантаження на шпиндель через дисбаланс також треба врахувати те, що динамічні сили різання (наприклад, викликані переривчастим режимом роботи фрези чи зносом шліфувального кола) часто виявляються значно вище відцентрових сил, викликаних допустимими залишковими дисбалансами. При автоматичному балансуванні шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів необхідно правильно обирати положення площин корекції відносно шліфувального та фрезерувального інструменту. Тому визначення параметрів дисбалансу у двох площинах корекції та умови автоматичного балансування є актуальною частиною загальної задачі, що вирішується в цьому дослідженні.

Метою цієї наукової роботи є формування методики автоматичного зрівноважування шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів у двох площинах корекції з визначенням головного вектора дисбалансу та представленням геометричних (масових) характеристик ротора через еквівалентні складові у двох площинах корекції.

Виклад основного матеріалу. При обробці заготовок на високоточних шліфувальних верстатах та верстатах для швидкісного фрезерування відхилення від геометричної точності та якості заданої поверхні значною мірою визначаються величиною дисбалансу, який виникає при обертанні шпинделя. Відомо, що технологічний дисбаланс є результатом таких об'єктивних причин, як розбіжність осей заготовки і шпинделя, нерівномірність розподілу мас у локальних областях заготовки, радіальне биття заготовки та інструменту, різна щільність матеріалу. На сучасних шліфувальних та фрезерних верстатах частота обертання шпинделя становить кілька тисяч обертів за хвилину, тому кожна знову встановлена заготовка обов'язково повинна бути піддана балансуванню, переважно разом із патроном, оправкою чи цангою.

Висновки відповідно до статті. У результаті проведених досліджень визначено напрями векторів статичної та динамічної неврівноваженості шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів після балансування у двох площинах корекції. Переміщуючи площину корекції вздовж осі шпинделя верстата збільшують або зменшують реакції в опорах, тим самим регулюють компенсаційні зусилля від корегуючих мас, що дозволяє автоматизувати процес компенсації моментної і динамічної неврівноваженості.

Ключові слова: шліфування; фрезерування; неврівноваженість; балансування.

Рис.: 4. Бібл.: 6.

Актуальність теми. У зв'язку зі створенням нових видів металообробного устаткування та інших машин, що забезпечують збільшення продуктивності праці, виникає проблема центрування та балансування неврівноважених технологічних систем при їхньому виготовленні й режимній зміні дисбалансів під час експлуатації. Нині для більшості шліфувальних верстатів та верстатів для швидкісного фрезерування передбачено балансування шліфувального кола та фрезерного інструменту в ручному режимі. Недоліком такого способу є необхідність у зупинці обладнання чи зміні технологічного та експлуатаційного режимів роботи. Більш ефективним способом є вбудова балансуєчих пристроїв у кінематичну структуру шліфувального чи фрезерного верстата та проведення балансування в автоматичному режимі під час роботи машини.

Постановка проблеми. При реалізації автоматичного балансування шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів на ходу машини у двох площинах корекції необхідна дорога, складна вібровимірвальна апаратура, електронні блоки управління та порівняння коливань машин. До того ж технологія автоматичного балансування на ходу машини для компенсації моментної та динамічної неврівноваженості вимагає вирішення проблеми зниження залишкового дисбалансу з одночасним підвищенням надійності привода та інших пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] розглянуто процес балансування шліфувального кола шліфувального верстата. Наведено особливості налагодження та експлуатації шліфувальних верстатів. У роботах [2; 3] проведено дослідження роботи ручної шліфувальної машини, де встановлено, що при шліфуванні виникає додаткове збільшення вібрації через установа новий диск з похибкою, через його нерівномірне зношування під час виконання технологічної операції, а також при застосуванні неякісних дисків. Для усунення цих вібрацій використовуються пасивні автобалансири з моделюванням процесів у середовищі Solid Works та модулі Cosmos Motion. Також визначено поведінку шпинделя шліфувальної бабки при зміні жорсткості опор для розробки автоматичної системи стабілізації величини зазора в гідростатичних підшипниках для підвищення сталості процесу шліфування. У [4] розглянуто питання стійкості та зносу шліфувального кола в процесі експлуатації. Представлено теоретичні та експериментальні дослідження системи компенсації вібрацій для промислового шліфувального обладнання. У роботі [5] розглянуто проблему повного балансування багаточашкового абразивного інструменту, розроблено графічну модель процесу балансування.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Значна частка існуючих на сьогодні підходів щодо зрівноважування шпинделів шліфувальних та фрезерувальних верстатів у процесі експлуатації вимагає зупинку машини й балансування в ручному режимі. При визначенні навантаження на шпиндель через дисбаланс також слід врахувати те, що динамічні сили різання (наприклад, викликані переривчастим режимом роботи фрези чи зносом шліфувального кола) часто виявляються значно вище відцентрових сил, викликаних допустимими залишковими дисбалансами. При автоматичному балансуванні шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів необхідно правильно обирати положення площин корекції відносно шліфувального та фрезерувального інструменту. Тому визначення параметрів дисбалансу у двох площинах корекції та умови автоматичного балансування є актуальною частиною загального завдання, що вирішується в цьому дослідженні.

Постановка завдання (цілей статті). Метою цієї наукової роботи є формування методики автоматичного зрівноважування шпинделів шліфувальних і швидкісних фрезерувальних верстатів у двох площинах корекції з визначенням головного вектора дисбалансу та представленням геометричних (масових) характеристик ротора через еквівалентні складові у двох площинах корекції.

Виклад основного матеріалу. При обробці заготовок на високоточних шліфувальних верстатах і верстатах для швидкісного фрезерування відхилення від геометричної точності та якості заданої поверхні значною мірою визначаються величиною дисбалансу, який виникає під час обертання шпинделя. Відомо, що технологічний дисбаланс є результатом таких об'єктивних причин, як розбіжність осі заготовки й осі шпинделя, нерівномірність розподілу мас у локальних областях заготовки, радіальне биття заготовки та інструменту, різна щільність матеріалу. На сучасних шліфувальних і фрезерних верстатах частота обертання шпинделя становить кілька тисяч обертів за хвилину, тому кожна знову встановлена заготовка обов'язково повинна бути піддана балансуванню, здебільшого разом із патроном, оправкою чи цангою.

Вирішуючи поставлене завдання треба врахувати те, що неврівноваженість обертових мас шліфувальних і високошвидкісних фрезерних верстатів включає в себе: верстатний шпиндель, тримаач інструменту, проміжні компоненти (оправки), інші додаткові елементи інструменту (наприклад, гвинти) і власне сам різальний інструмент. Основними причинами дисбалансу є: геометрична асиметрія всіх перерахованих вище компонентів, точність їх виготовлення, а також похибки і помилки при їх установці. Наявність дисбалансу викликає як мінімум вібрацію обладнання, яка зменшує стійкість різального інструменту, а також точність і якість механічної обробки. Для зменшення величини дисбалансу виробники змушені обмежувати частоти обертання шпинделів верстатів, а також використовувати відповідне технологічне оснащення. Необхідність ретельного балансування шпинделів шліфувальних та фрезерних верстатів призводить до того, що час, витрачений на балансування, багаторазово перевищує час на механічну обробку заданої поверхні. Також для безвідмовної служби різального інструменту необхідно балансування шпинделів шліфувального та високошвидкісного фрезерного верстатів у двох площинах корекції. Ця процедура повинна виконуватися періодично, оскільки у процесі використання різального інструменту параметри механічної обробки погіршуються.

Розглянемо процес автоматичного балансування шліфувальних шпинделів із широкими колами (міжопорних роторів) у двох площинах корекції для компенсації головного вектора Q і головного моменту M неврівноважених відцентрових сил безпосередньо на ходу верстата. Так, на шпинделі I пристрою (рис. 1, *a*) (пат. N37851, НДР) в опорах 2 посаджена втулка 3 , що з одного боку упирається в буртик шпинделя, а з іншого кріпиться гайкою 4 . На втулці 3 встановлений шліфувальний круг 5 , що складається з набору кругів. З торців втулки 3 , у двох площинах (I, II), розміщені коригувальні маси, що мають можливість повертатися відносно осі обертового шліфувального круга в процесі корегування і які являють собою набір кілець. Поворот кільцевих коригувальних мас відносно обертового шліфувального круга I здійснюється за допомогою поворотно-передатного механізму. Розглянемо двоплощинне балансування шпинделів безцентрово-шліфувальних верстатів, що мають кільцеву порожнину, утворену внутрішньою циліндричною поверхнею втулки 4 (рис. 1, *б*), на якій встановлений набір шліфувальних кругів 2 , і ступень найбільшого діаметра шпинделя 5 . Для розміщення керованого балансуєчого пристрою обрана кільцева порожнина, тому що розташовувати коригувальні елементи зовні шпинделя, у місцях $1, 3$ установки сухарів (рис. 1, *б*), як це зроблено у вищеописаному пристрої (рис. 1, *a*), виявилось конструктивно недоцільним. Для усунення неврівноваженості шліфувального круга (по \bar{Q} та \bar{M}) встановлено два пристрої для статичного балансування, по одному пристрою в кожній площині корекції I-I і II-II, які повертаються приводом (на рисунку не показано) в положення компенсації технологічної неврівноваженості.

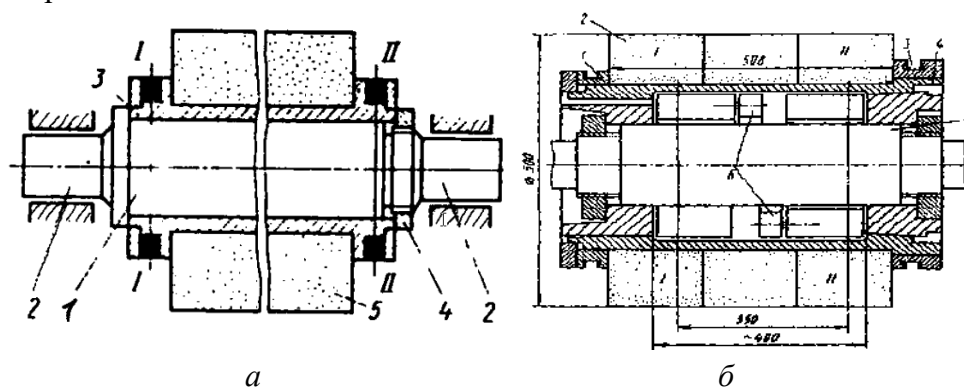


Рис. 1. Процес двоплощинного балансування шліфувального шпинделя:
a – двоплощинне балансування шліфувального шпинделя за пат. N37851, НДР;
б – двоплощинне балансування за допомогою двох статичних пристроїв

При зрівноважуванні шпинделя шліфувального чи фрезерного верстата у двох площинах корекції головний вектор дисбалансу $\bar{D}_{CT} = \bar{D}_z$, і його замінюють на складові в площинах корекції, які дорівнюють відповідно:

$$\bar{D}_{CTA} = \bar{D}_{CT} \cdot \frac{L_B}{L}; \quad \bar{D}_{CTB} = \bar{D}_{CT} \cdot \frac{L_A}{L}, \tag{1}$$

де L – відстань між опорами; L_A і L_B – відстань від опор A і B до центра мас ротора.

При визначенні головного вектора дисбалансу ротора варто врахувати те, що ротор перебуває у стані динамічної рівноваги і відповідає умовам рівності нулю суми всіх нерівноважених сил і суми всіх моментів цих сил, тобто:

$$\begin{aligned} \sum P_i &= \omega^2 \sum m_i r_i = \omega^2 \sum \bar{D}_i = \omega^2 \bar{D} = \omega^2 \bar{l}_{cm} = 0; \\ \sum \bar{M}_i &= \sum [L_i \bar{P}_i] = \sum m_i [L_i r_i] \omega^2 = 0, \end{aligned} \tag{2}$$

де m_i , r_i , \bar{D}_i – відповідно нерівноважена маса, її ексцентриситет і дисбаланс; \bar{D} – головний вектор дисбалансу; L_i – плече прикладання i -тої сили.

З урахуванням жорсткості опор ротора суму сил $\sum P_i$ можна представити як:

$$\sum P_i = m_p l_{cm} \omega^2 \leq \delta_{on} C_{on}. \tag{3}$$

Якщо умова (3) не виконується, то необхідно проводити динамічне балансування системи. У практиці усунення відзначених дисбалансів геометричні масові характеристики шпинделя представляють через еквівалентні складові у площинах корекції I і 2 з аплікатами z_1 і z_2 (рис. 2, а). Еквівалентна заміна головного вектора дисбалансів \bar{D}_z двома векторами \bar{D}_{c1} і \bar{D}_{c2} у площинах корекції I і 2 справедлива, якщо сума цих дисбалансів залишається рівної первісному значенню вектора \bar{D}_z , і момент цих дисбалансів відносно точки прикладання вектора \bar{D}_z дорівнює нулю:

$$\bar{D}_{c1} + \bar{D}_{c2} = \bar{D}_z; \quad z_1 \bar{D}_{c1} + z_2 \bar{D}_{c2} = 0. \tag{4}$$

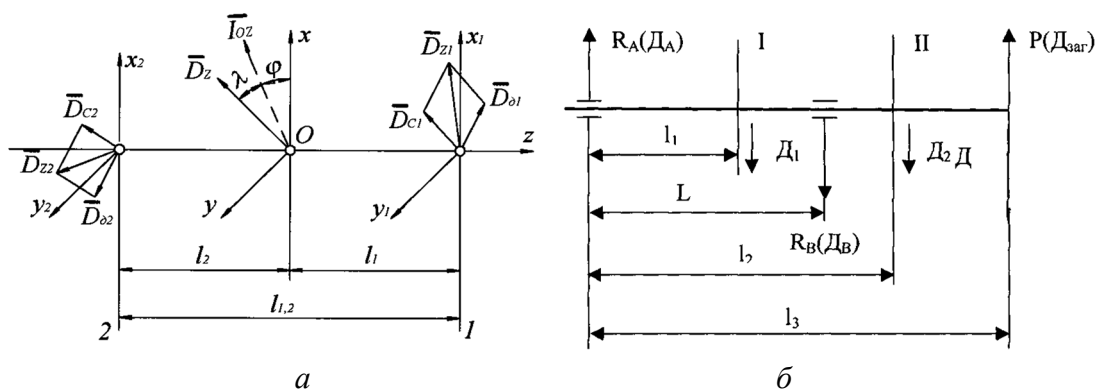


Рис. 2. Векторна компенсація змінного дисбалансу:

- а) розкладання головного вектора дисбалансів у площинах корекції I і 2 ;
- б) схема взаємного розташування площин корекції і опор

Звідки, з урахуванням орієнтації вектора \bar{D}_z одержимо:

$$\bar{D}_{c1} = -\frac{z_2}{z_1 - z_2} \bar{D}_z; \quad \bar{D}_{c2} = -\frac{z_1}{z_1 - z_2} \bar{D}_z. \tag{5}$$

При визначенні складових головного вектора дисбалансів відстань до площин корекції варто підставляти з урахуванням знаків. Так, при розташуванні центра мас між площинами корекції апліката z_2 має негативне значення, а апліката z_1 – позитивне. Тобто $z_1=l_1$; $z_2=-l_2$ і $z_1-z_2=l_1+l_2=l_{1,2}$. З урахуванням знака аплікат z_1 і z_2 вираз (5) буде мати вигляд:

$$\bar{D}_{c1} = \frac{l_2}{l_{1,2}} \bar{D}_z; \quad \bar{D}_{c2} = \frac{l_1}{l_{1,2}} \bar{D}_z. \quad (6)$$

Складові дисбаланси \bar{D}_{c1} і \bar{D}_{c2} у площинах, перпендикулярних до вектора \bar{I}_{oz} , знайдемо, виходячи з рівності цих складових один одному за модулем:

$$\left| \bar{D}_{c1} \right| = \left| \bar{D}_{c2} \right| = \left| \bar{D}_d \right|.$$

З виразу відцентрового моменту $\bar{I}_{oz} = (z_1 - z_2) D_0$, одержимо: $D_0 = \frac{\bar{I}_{oz}}{l_{1,2}}$, де $l_{1,2} = z_1 - z_2$.

Після визначення дисбалансів D_{c1} і D_{c2} у двох площинах корекції, перпендикулярних до осі ротора, можна, використовуючи правило перерахування дисбалансів з одних площин в інші, визначити дисбаланси в місці установки коригувальних мас на роторі та підібрати ємності корегуючих мас для балансування.

При обробці деталі неврівноваженим шліфувальним колом на металорізальних верстатах дисбаланси коригувальних мас у площинах корекції I і II (рис. 2, б) є залежним від схем взаємного розташування площин корекції та опор, і вони визначаються за відомими залежностями. При обробці неврівноваженим шліфувальним колом у ці формули додають моменти від дисбалансу заготовки. Так, для схеми, показаної на рис. 2, б дисбаланси D_1 і D_2 у площинах корекції I й II визначається за формулами:

$$D_1 = \frac{-D_B L - D_2 l_2 + D_{заг} l_3}{l_1}; \quad D_2 = \frac{D_{заг} (l_3 - L) - D_A L + D_1 (L - l_1)}{l_2 - L}. \quad (7)$$

Додатковою умовою для автоматичного балансування за допомогою розроблених приводів є нерівність:

$$\frac{dP_0}{dt} \ll \left| \frac{d}{dt} (\bar{P}_1 + \bar{P}_2) \right|, \quad (8)$$

де P_0 – відцентрова сила, створювана неврівноваженим ротором; P_1 і P_2 – відцентрові сили неврівноважених коригувальних вантажів; t – час.

Переміщаючи площину корекції вздовж осі ротора, зменшують (або збільшують) реакції в опорах. Якщо коригувальні диски знаходяться на консольному роторі між опорами (рис. 3, а), то при зміщенні їх від точки В до точки А на величину x реакції R_I в опорі В (рис. 3, в) збільшується. При зміщенні коригувальних дисків l , розташованих на консолі, від точки В до точки С (рис. 3, б) реакція R_I в опорі В (рис. 3, з) зменшується. У положенні $x = l$, де l – плече прикладеної відцентрової сили P_I від технологічного дисбалансу шліфувального кола, реакції будуть дорівнювати нулю, якщо сума відцентрових сил коригувальних дисків дорівнює P_I .

Використовуючи вищенаведену методику, розкладемо головний вектор дисбалансу ротора на складові. Нехай шпindel шліфувального верстата з масою m має статичну неврівноваженість D і динамічну M . Між векторами M і D кут λ . Розташувавши складового вектора M у площинах корекції А і В (рис. 4, а) зауважуємо, що $M_A = M_B$, причому: $M = M_A (L_A + L_B) = M_B (L_A + L_B)$.

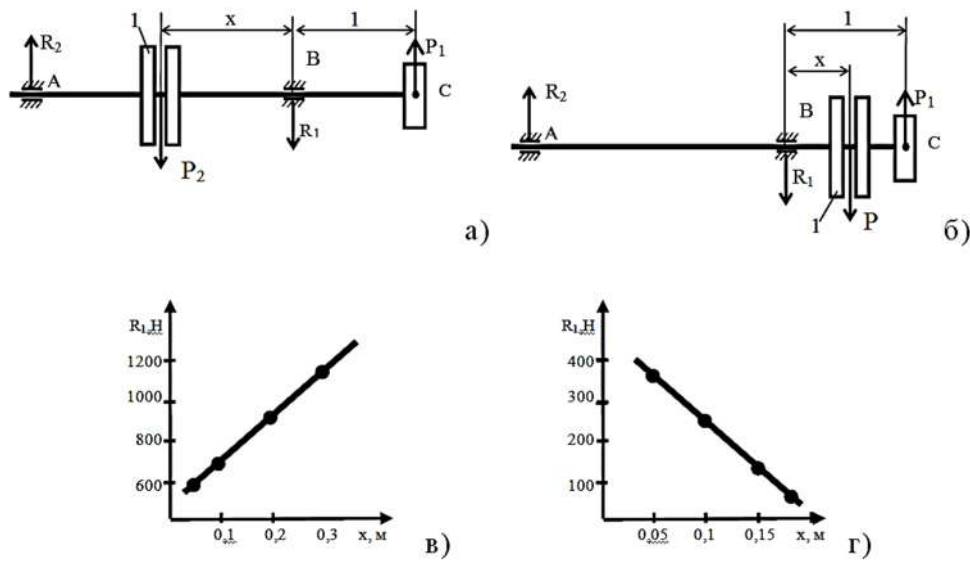


Рис. 3. Переміщення коригувальних мас уздовж осі шліфувального шпинделя:

а, б – схеми розташування коригувальних мас; в, г – зміна реакції в опорах

Визначимо складові дисбалансів D_A і D_B у площинах A і B . Модуль вектора D_B у площині корекції Y визначається за формулою:

$$D_B = \frac{1}{L} \sqrt{M^2 + D^2 z_2^2 - 2M \cdot D |z_2| \cdot \sin \lambda} \quad (9)$$

Аналогічно вектор D_A у площині A визначається за формулою:

$$D_A = \frac{1}{L} \sqrt{M^2 + D^2 z_1^2 + 2M \cdot D |z_1| \cdot \sin \lambda}, \quad (10)$$

де $z_1 = L_B$, $z_2 = -L_A$, $L_A + L_B = L$.

Кутові координати векторів \bar{D}_A і \bar{D}_B відносно вектора \bar{M} визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \lambda - \frac{M}{D |z_2| \cos \lambda}, \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \operatorname{tg} \lambda + \frac{M}{D |z_1| \cos \lambda} \quad (11)$$

На рис. 4, б показано розташування векторів \bar{D}_A і \bar{D}_B відносно вектора \bar{M} при таких даних: $m = 20$ кг; $D = 2 \cdot 10^2$ гм; $M = 6 \cdot 10^4$ гм²; $\lambda = 30^\circ$; $Z_1 = 150$ мм; $Z_2 = -100$ мм.

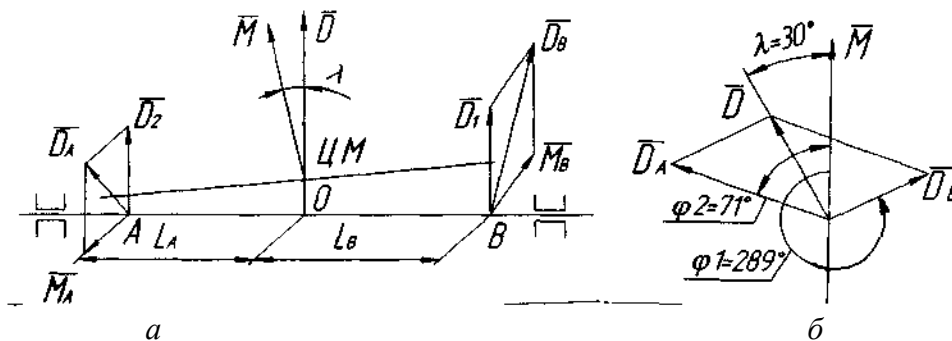


Рис. 4. Схема розташування векторів статичної (а) і динамічної (б) нерівноваженості після балансування

Перевіряючи результати графічної побудови за формулою $\bar{D} = \bar{D}_A + \bar{D}_B$, бачимо, що вищенаведена рівність виконується.

Отже, процес балансування шпинделів високоточних шліфувальних верстатів та верстатів для швидкісного фрезерування у двох площинах корекції є досить складною технологічною операцією, і він відбувається таким чином, щоб обертання не приводило до виникнення некомпенсованих відцентрових сил. При цьому треба враховувати те, що величини розрахованої маси коригуючого вантажу і кута його повороту виходять дробовими величинами. Округлення значень призводить до появи значного залишкового дисбалансу, що значно збільшує тривалість балансувальної процедури. Тому методика, що наводиться в цій науковій роботі, дозволяє підібрати корегуючі маси для балансування шпинделів високоточних шліфувальних верстатів та верстатів для швидкісного фрезерування. Жорсткі ротори, до яких можуть бути віднесені шпинделі шліфувальних та фрезерних верстатів, теоретично допускають повне балансування при примусовому поєднанні осі обертання з головною центральною віссю обертання, наприклад, шляхом переміщення коригуючих мас (у тому числі й автоматично), видалення коригуючої маси, а також за допомогою інших автобалансуючих пристроїв. Однак існуючі пристрої мають обмеження по точності, які пов'язані, зокрема, з тертям і дискретністю впливів у механічних і гідравлічних приводах, що не дозволяє досягти зниження амплітуди коливань до рівня 0,1-0,01 мкм [6].

Висновки відповідно до статті. У результаті проведених досліджень визначено напрямки векторів статичної та динамічної неврівноваженості шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів після балансування у двох площинах корекції. Переміщуючи площину корекції вздовж осі шпинделя верстата збільшують або зменшують реакції в опорах, тим самим регулюють компенсаційні зусилля від корегуючих мас, що дозволяє автоматизувати процес компенсації моментної і динамічної неврівноваженості.

Список використаних джерел

1. Балансувальні важки на шліфувальному колі: пристрій розміри. Особливості налагодження шліфувальних верстатів. Як збалансувати шліфувальний круг. URL: <https://klop.in.ua/balansovalni-vazhky-na-shlifovalnomu-koli-prystrij-rozmiry-osoblyvosti-nalagodzhennya-shlifovalnyh-verstativ-yak-otbalansyrovat-shlifovalnyj-krug.html>.
2. Коваленко О. В., Філімоніхін Г. Б. Числове моделювання процесу зрівноваження кульовими автобалансирами дисків ручних шліфувальних машин. *Науковий вісник НГУ*. 2009. № 10. С. 20–26.
3. Федотьева Л. П. Визначення поведінки пружної системи шпиндельних опор шліфувальної бабки. *Вестник ДГМА*. 2014. № 1(13Е). С. 85–91.
4. Гуцаленко Ю. Г. Стійкість кола в робочих процесах раціонального стабільного шліфування. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2005. № 23. С. 50–63.
5. Озимок Ю. І., Рудницький Р. Б. Методика балансування багаточашкового абразивного інструменту. *Науковий вісник УДЛУ*. 2014. № 14.4. С. 104–108.
6. Струтинський В. Б., Сахно Є. Ю. Дослідження системи шпиндельного вузла з неврівноваженою заготовкою. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2006. № 1. С. 59–63.

References

1. *Balansovalni vazhky na shlifoval'nomu koli: prystrii rozmiri. Osoblivosti nalagodzhennia shlifovalnykh verstativ. Yak zbalansuvati shlifoval'nij krug. [Balancing weights on the grinding wheel: device dimensions. Features of setting up grinding machines. How to balance the grinding wheel]*. <https://klop.in.ua/balansovalni-vazhky-na-shlifovalnomu-koli-prystrij-rozmiry-osoblyvosti-nalagodzhennya-shlifovalnyh-verstativ-yak-otbalansyrovat-shlifovalnyj-krug.html>.
2. Kovalenko, O. V., Filimonikhin, G. B. (2009). Chislove modeliuвання protsesu zrivnovazhennia kulovimi avtobalansirami diskiv ruchnykh shlifovalnykh mashyn [Numerical modeling of the process of balancing the discs of manual grinders with ball auto balancers]. *Naukovii visnyk NGU – Scientific bulletin of NSU*, 10, pp. 20–26.

3. Fedoteva, L. P. (2014). Vyznachennia povedinky pruzhnoi systemy shpyndelnykh opor shlifovalnoi babky [Determining the behavior of the elastic system of spindle supports of the grinding headstock]. *Vestnyk DHMA – Bulletin of the DGMA*, 1(13E), pp. 85–91.

4. Gutsalenko, Yu. G. (2005). Stiikist kola v robochykh protsesakh ratsionalnoho stabilnoho shlifuvannia [Stability of the circle in the working processes of rational stable grinding]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KHPI» – Bulletin of the National Technical University «KhPI»*, 23, pp. 50–63.

5. Ozimok, Yu. I., Rudnitsky, R. B. (2014). Metodyka balansuvannia bahatochashkovoho abrazyvnoho instrumentu [Method of balancing a multi-cup abrasive tool]. *Naukovyi visnyk UDLU – Scientific Bulletin of UDLU*, 14.4, pp. 104–108.

6. Strutinsky, V. B., Sakhno, E. Yu. (2006). Doslidzhennia systemy shpyndelnoho vuzla z nevrivnovazhenoiu zahotovkoiu [Investigation of the spindle assembly system with an unbalanced billet]. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka – Industrial hydraulics and pneumatics*, 1, pp. 59–63.

UDC 621.92

Vitalii Kalchenko, Sergii Tsybulia, Evgeny Sakhno, Andrii Yeroshenko

THE PROCESS OF BALANCING THE SPINDLES OF GRINDING AND HIGH-SPEED MILLING MACHINES IN TWO PLANES OF CORRECTION

Urgency of the research. In connection with the creation of new types of Metalworking equipment and other machines that increase labor productivity, there is a problem of centering and balancing unbalanced technological systems during their manufacture and regime change of imbalances during operation. Currently, most grinding machines and high-speed milling machines provide manual balancing of the grinding wheel and the milling tool. The disadvantage of this method is the need to stop the equipment or change the technological and operational modes of operation. A more effective way is to integrate balancing devices into the kinematic structure of a grinding or milling machine and perform balancing automatically during the machine's running time.

Target setting. When implementing automatic balancing of the spindles of grinding and high-speed milling machines on the move of the machine in two planes of correction, expensive, complex vibration measuring equipment, electronic control units and comparison of machine vibrations are necessary. In addition, the technology of automatic balancing on the move of the machine to compensate for moment and dynamic imbalance requires solving the problem of reducing residual imbalance while increasing the reliability of the drive and other devices.

Analysis of recent research and publications. The work considered the latest publications on this topic, which are presented in the public domain, including the Internet.

Uninvestigated parts of general matters defining. A significant proportion of current approaches to balancing the spindles of grinding and milling machines during operation require stopping the machine and balancing in manual mode. In determining the load on the spindle due to an imbalance, we also should note that the dynamic cutting forces (e.g., caused by intermittent operation of the cutter or grinding wheel wear) are often much higher than centrifugal forces caused by admissible residual imbalances. When automatically balancing the spindles of grinding and high-speed milling machines, it is necessary to correctly select the position of the correction planes relative to the grinding and milling tools. Therefore, determining the parameters of the imbalance in the two planes of correction and the condition of automatic balancing is an urgent part of the overall problem that is being solved in this scientific study.

The research objective. The purpose of this scientific work is to develop a method for automatic balancing of spindles of grinding and high-speed milling machines in two correction planes with the determination of the main imbalance vector and representation of the geometric (mass) characteristics of the rotor through equivalent components in two correction planes.

The statement of basic materials. When processing workpieces on high-precision grinding machines and high-speed milling machines, deviations from the geometric accuracy and quality of a given surface are largely determined by the amount of imbalance that occurs when the spindle rotates. It is known that the technological imbalance is the result of such objective reasons as mismatch of the workpiece axis and the spindle axis, uneven mass distribution in local areas of the workpiece, radial runout of the workpiece and tool, different material density. On modern grinding and milling machines, the spindle speed is several thousand revolutions per minute, so each newly installed workpiece must be subjected to balancing, usually together with a chuck, mandrel or collet.

Conclusions. As a result of the research, the directions of vectors of static and dynamic imbalance of spindles of grinding and high-speed milling machines after balancing in two correction planes are determined. By moving the correction plane along the axis of the machine spindle, the reactions in the supports increase or decrease, thereby regulating the compensation forces from the correcting masses, which allows automating the process of compensation for moment and dynamic imbalance.

Keywords: grinding, milling, imbalance, balancing.

Fig.: 4. References: 6.

Кальченко Віталій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Vitalii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kalchenkovi@ukr.net

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

ResearcherID: G-9477-2014

Цибуля Сергій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту механічної інженерії, технологій та транспорту, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Tsybulia Sergii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Mechanical Engineering, Technology and Transport, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: stcibula@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7843-6061>

Researcher ID: H-1391-2016

Сахно Євгеній Юрійович – доктор технічних наук, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sakhno Evgeniy – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: evsakhno@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9789-7242>

ResearcherID: M-3987-2016

Єрошенко Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Yeroshenko Andrii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Wood technology, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: yeroshenkoam@gmail.com

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

Researcher ID: G-6757-2014

Scopus Author ID: 57193700687

УДК 667.637.222

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-28-34

Антон Клименко, Володимир Анісімов, Володимир Ситар

РОЗРОБКА ТОНКОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВЕРХОНЬ ВІД ГАЗО- ТА ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

Актуальність теми дослідження. Завдання збільшення зносостійкості деталей і вузлів тертя зумовлене тенденцією до підвищення їхньої продуктивності, а отже, робочих навантажень, швидкостей, температур та інших параметрів.

Постановка проблеми. Для покращення експлуатаційних характеристик вузлів тертя необхідно використовувати матеріали, які поєднують добрі адгезійні та антифрикційні властивості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відома значна кількість публікацій про матеріали з підвищеними антифрикційними властивостями та окремо з підвищеними адгезійними властивостями.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутні відомості про матеріали, які поєднували б високі адгезійні властивості та гарні антифрикційні властивості в якості поверхонь, що піддаються газо- та гідроабразивному зношуванню.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідити сукупність адгезійних та антифрикційних властивостей матеріалів на основі фенілону.

Виклад основного матеріалу. Досліджено адгезійну здатність фенілону до класичних матеріалів частин машин та його зносостійкість при газо- та гідроабразивному зношуванні. Ця залежність величини та інтенсивності зношування від куту атаки абразивного матеріалу.

Висновки відповідно до статті. Встановлено, що незалежно від режиму роботи найбільше зношування покриттів на основі фенілону відбувалося при кутах 45-60°, та починаючи з кута атаки в 45° змінювався механізм зношування з мікрорізання на вибиття полімеру посередині досліджуваного зразка. При обох режимах роботи покриття на основі фенілону виявилися досить стійкими, що вказує на можливість використання фенілону як покриття для захисту від газоабразивного зношування. Але необхідні подальші дослідження, що будуть більш наближені до реальних умов експлуатації, з пошуком наповнювачів для підвищення зносостійкості та адгезійної здатності покриття на основі фенілону.

Ключові слова: фенілон; адгезія; зношування; покриття; поверхня.

Рис.: 6. Табл.: 2. Бібл.: 6.

Актуальність теми дослідження. Довговічність деталей і вузлів устаткування, пов'язаного з переробкою і транспортуванням абразивних матеріалів, визначається насамперед зносостійкістю їхніх робочих поверхонь. Аналіз досвіду експлуатації показує, що термін працездатності таких деталей машин дуже малий і може становити навіть одну або декілька робочих змін.

Постановка проблеми. Жорсткість режимів експлуатації машин, що зумовлена тенденцією до підвищення їхньої продуктивності, а отже, навантажень, швидкостей, температур та інших параметрів, потребує збільшення зносостійкості деталей і вузлів тертя [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зношування є складним процесом, залежним від двох взаємопов'язаних груп факторів. З одного боку, процес зношування визначається умовами роботи деталі або вузла з урахуванням прикладених навантажень, швидкості переміщення, агресивності середовища й температури експлуатації, з іншого боку, він залежить також від здатності металу протидіяти дії навантажень, що визначається його хімічним складом, термічною обробкою, структурою і отриманими в результаті цього механічними властивостями. Процес зношування деталей або вузлів переважно неоднозначний та залежить від великої кількості факторів. Умови роботи більшості деталей (вузлів) визначають наявність одразу кількох видів зношування, одні з яких призводять безпосередньо до руйнування поверхневого шару, а інші – не викликають безпосереднього відокремлювання частинки матеріалу, однак сприяють прискоренню цього процесу. Систематизація умов роботи, які призводять до зношування деталей, дозволила класифікувати різні види зношування за трьома групами (рис. 1) [2].

Із перелічених видів зношування інтерес становить гідро- та газоабразивне зношування.

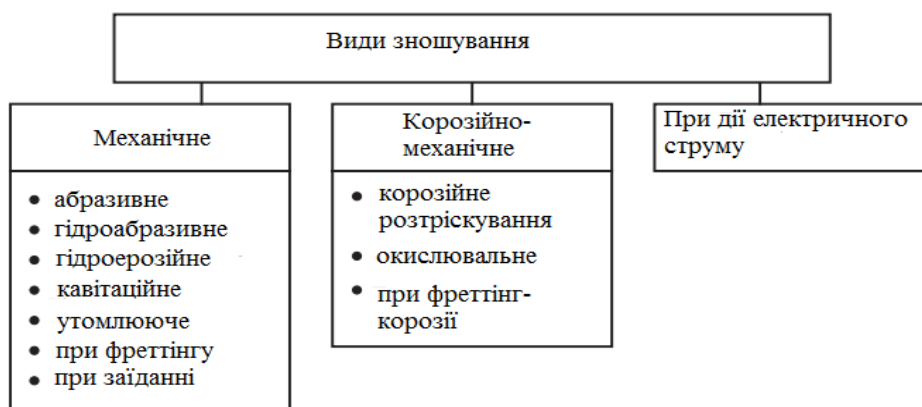


Рис. 1. Класифікація видів зношування

Зношування матеріалів під дією твердих часток у потоках рідини чи газу, незважаючи на різні стани середовищ, мають багато спільного. Вплив абразивної частинки, яка переноситься повітряним чи рідинним потоком, на поверхню тертя супроводжується або ударом із наступним утворенням лунок, або ковзанням, що формує подряпини. Рівень динамічного впливу і макрорельєф поверхні тертя передусім залежить від орієнтації газо- чи гідроабразивного потоку до поверхні, або так званим кутом атаки (рис. 2) [2].

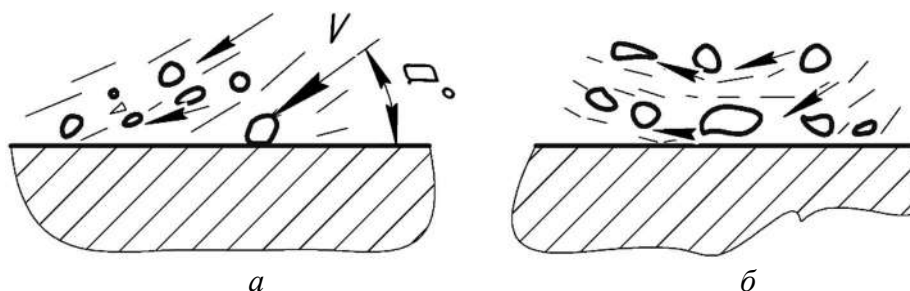


Рис. 2. Схеми зношування:
а – газоабразивного; б – гідроабразивного

Аналіз відмов вузлів і деталей обладнання показує, що надійність і довговічність машин і апаратів здебільшого лімітується не загальною міцністю деталей, а зношуванням найбільш навантажених поверхонь.

Зміцнення поверхонь зазвичай пов'язують із підвищенням міцнісних властивостей металу поверхневого шару. Більшість методів зміцнення як поверхневого шару, так і виробу загалом викликають збільшення в металі кількості дефектів кристалічної будови. Зі збільшенням щільності дефектів у кристалічній ґратці їх переміщення під дією зрушуючих зусиль загальмовується, зростають напруження, необхідні для зсування однієї частини кристала щодо іншої, що сприяє підвищенню показників міцності [3].

Однак збільшення кількості дислокацій і дефектів кристалічної ґратки може призвести до переходу в крихкий стан та небезпеки виникнення та розвитку тріщин. Також недоліком є велика трудомісткість процесу зміцнення та висока вартість деяких способів. Тому виникає необхідність у пошуку нових прогресивних способів підвищення зносостійкості. Одним із таких способів є нанесення полімерних покриттів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Перспективною групою полімерних матеріалів є ароматичні поліаміди. Найбільш цікавим представником ароматичних поліамідів є фенілон.

Відомо, що фенілон має чудові фізико-механічні показники та добре проявив себе як антифрикційний матеріал. Тому великий інтерес становить використання фенілону як захисного покриття з дослідженням його адгезійних властивостей до класичних матеріалів проточних частин машин та його зносостійкості.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження сукупності адгезійних та антифрикційних властивостей матеріалів на основі фенілону.

Методика досліджень. Полімерні покриття отримували шляхом нанесення на металеву поверхню розчину з наступним випаровуванням розчинника. Як субстрат обрано металеві матеріали, які застосовують для отримання зносостійких функціональних поверхонь. Як розчинник використовували диметилформамід (ДМФА).

Рівень адгезії фенілонового покриття до субстрату встановлювали методом нерівномірного відшарування на спеціально розробленій установці, що дозволяє визначити зусилля, яке необхідно прикласти для відшарування плівки певної ширини від металевої поверхні при постійній швидкості відшарування (рис. 3).

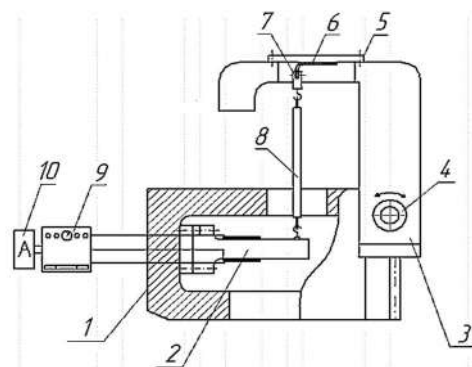


Рис. 3. Схема установки для визначення міцності адгезійного з'єднання при відшаруванні:

1 – станина; 2 – тензометрична балка; 3 – рухома каретка; 4 – руків'я привода каретки; 5 – підложка покриття; 6 – досліджуване покриття; 7 – затискач; 8 – тяга; 9 – тензометричний підсилювач; 10 – реєструючий прилад (мікроамперметр)

Зносостійкість покриттів оцінювали в умовах жорсткого газоабразивного зношування потоком піску з розміром часток 0,5–0,9 мм при швидкості 76 м/с згідно з ГОСТ 23.201-78 на відцентровому прискорювачі твердих часток під різними кутами атаки абразиву: 15°, 30°, 45°, 60° і 90°. Відповідно до загальноприйнятої класифікації видів зношування [4] такі умови випробувань належать до високошвидкісного контактно-динамічного навантаження (швидкість потоку частинок >60 м/с).

Досліджено вплив природи наповнювача та модифікатора на зносостійкість розроблених покриттів.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що фенілон має низький рівень адгезії до сталевих субстратів. Авторами роботи [5] досліджено адгезійну здатність фенілону до металевих субстратів різної природи, але серед них не було матеріалів, з яких виготовляються ротори промислових центрифуг. Тому дослідження адгезії до цих матеріалів становить інтерес.

Для встановлення адгезійної здатності фенілонового покриття використовувались субстрати з класичних матеріалів (40X, 08X18H9T, 12X18H10T та їхні аналоги). Результати представлені на рис. 4.

Як можна побачити на рис. 4, рівень адгезійної міцності не є достатнім для того, щоб покриття добре трималося. Тому було вирішено обміняти субстрати згідно з [6].

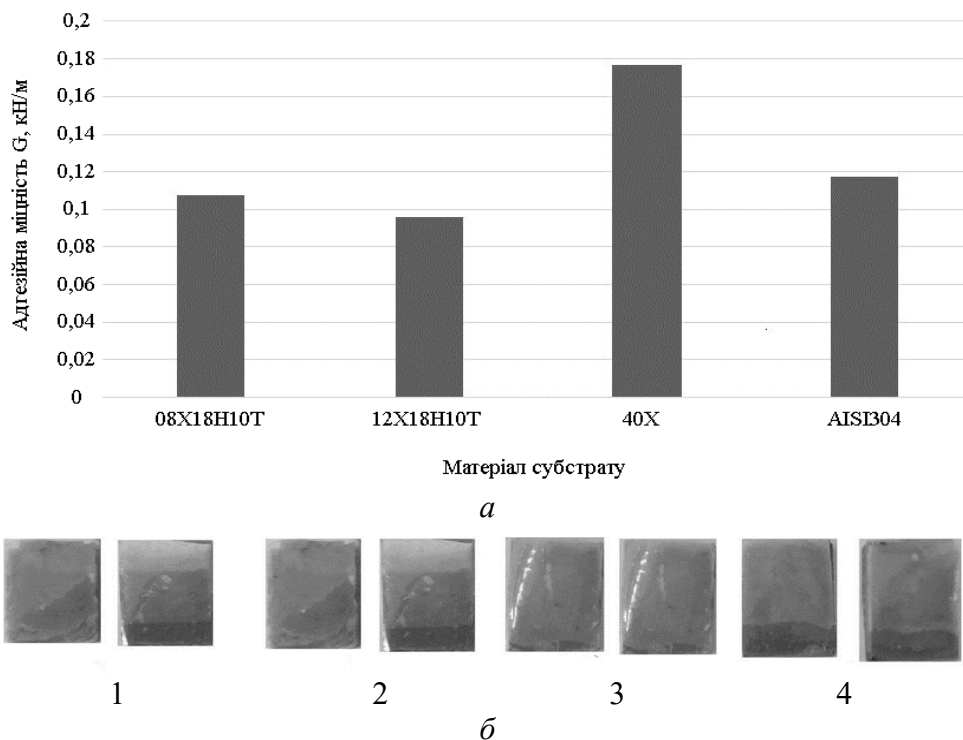


Рис. 4. Адгезія фенолону до класичних матеріалів проточних частин машин:
 а – гістограма адгезійної міцності; б – фото зразків;
 1 – 12X18H10T; 2 – 08X18H9T; 3 – AISI 304; 4 – 40X

Встановлено, що максимальне зношування фенолону, незалежно від режиму роботи, відбувається при куті атаки в 45–60°, що необхідно враховувати при експлуатації. Результати досліджень представлені на рис. 5 та 6 і табл. 1 та 2.

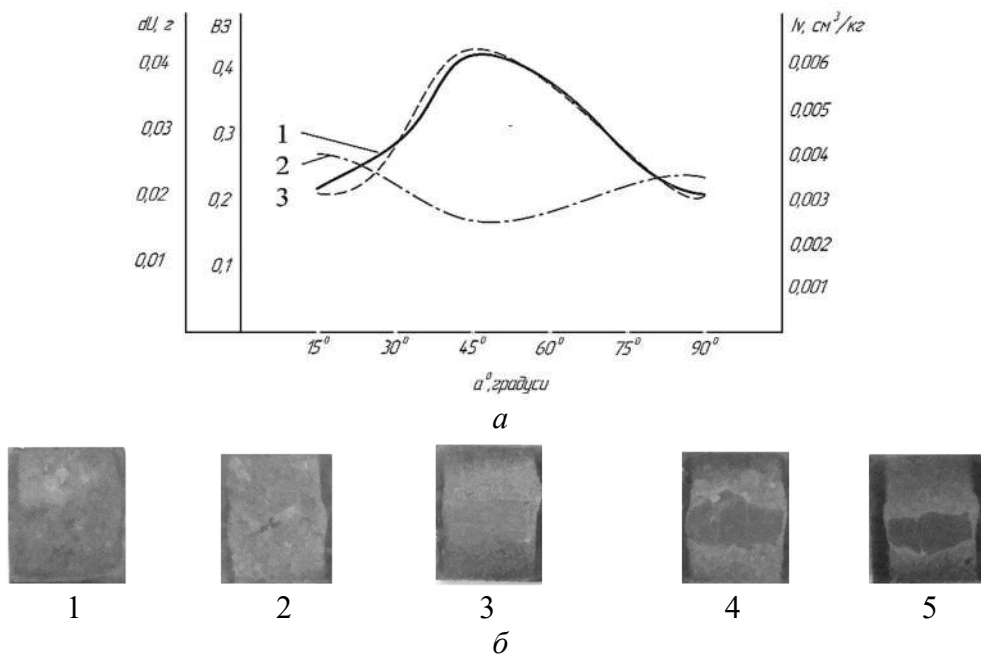


Рис. 5. Вплив кута атаки абразиву на величину зношування (dU), інтенсивність зношування (Iv), відносну зносостійкість ($B3$) та поверхню покриття $n = 6000 \text{ хв}^{-1}$:
 а – графік залежностей, 1 – $dU(a)$; 2 – $B3(a)$; 3 – $Iv(a)$;
 б – фото зразків; 1 – 15°; 2 – 30°; 3 – 45°; 4 – 60°; 5 – 90°

Таблиця 1

Зносостійкість покриттів на основі фенілону при різних кутах атаки абразиву
при $n = 6000 \text{ хв}^{-1}$

Густина композита г/см^3	Кут атаки, градуси	Зношування		Відносна зносостійкість (відносно 12X18H10T)	Інтенсивність зношування, $\text{см}^3/\text{кг}$
		г	см^3		
1,350	15	0,02125	0,0157	0,267	0,00314
	30	0,0279	0,02066	0,233	0,00413
	45	0,04105	0,0304	0,170	0,00608
	60	0,0381	0,0282	0,183	0,00564
	90	0,02075	0,0154	0,246	0,00308

Таблиця 2

Зносостійкість покриттів на основі фенілону при різних кутах атаки абразиву
при $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

Густина композита г/см^3	Кут атаки, градуси	Зношування		Відносна зносостійкість (відносно 12X18H10T)	Інтенсивність зношування, $\text{см}^3/\text{кг}$
		г	см^3		
1,350	15	0,0076	0,00562	0,210	0,00014
	30	0,01285	0,0095	0,172	0,000238
	45	0,01665	0,01233	0,148	0,00031
	60	0,01345	0,00996	0,171	0,00025
	90	0,00585	0,00433	0,175	0,00011

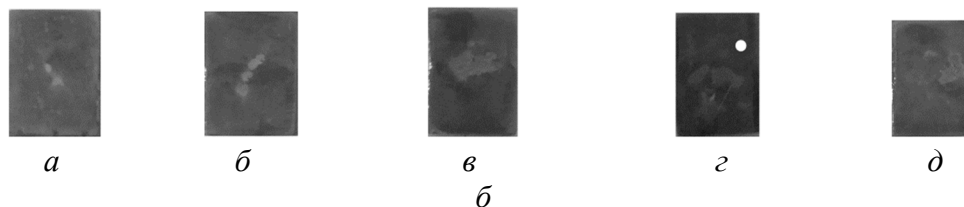
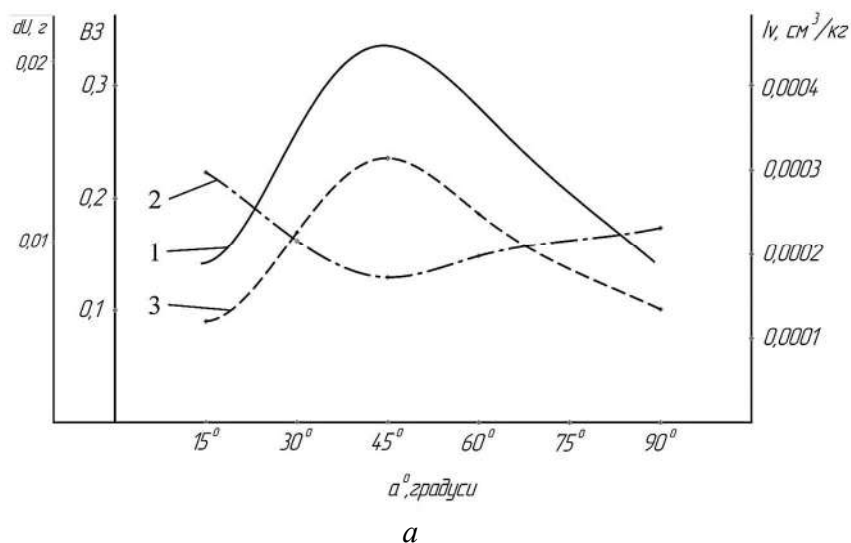


Рис. 6. Вплив кута атаки абразиву на величину зношування (dU), інтенсивність зношування (Iv), відносну зносостійкість ($BЗ$) та поверхню покриття $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$:
а – графік залежностей; 1 – $dU(\alpha)$; 2 – $BЗ(\alpha)$; 3 – $Iv(\alpha)$;
б – фото зразків; 1 – 15° ; 2 – 30° ; 3 – 45° ; 4 – 60° ; 5 – 90°

Також для обох режимів роботи характерна зміна механізму зношування при кутах атаки 45–90°.

При обох режимах роботи покриття на основі фенілолу виявилися досить стійкими, що вказує на можливість використання фенілолу як покриття для захисту від газоабразивного зношування.

Висновки відповідно до статті. Встановлено, що незалежно від режиму роботи найбільше зношування покриттів на основі фенілолу відбувалося при кутах 45–60°, та починаючи з кута атаки в 45° змінювався механізм зношування з мікрорізання на вибиття полімеру посередині досліджуваного зразка.

При обох режимах роботи покриття на основі фенілолу виявилися досить стійкими, що вказує на можливість використання фенілолу як покриття для захисту від газоабразивного зношування. Але необхідні подальші дослідження, що будуть більш наближені до реальних умов експлуатації, з пошуком наповнювачів для підвищення зносостійкості та адгезійної здатності покриття на основі фенілолу.

Список використаних джерел

1. Пенкин Н. С., Капралов Е. П., Маляров П. В. Повышение износостойкости горно-обогатительного оборудования : монография. Москва : Недра, 1992. 265 с.
2. Виноградов В. Н., Сорокин Г. М. Износостойкость сталей и сплавов : уч. пособ. для вузов. Москва : Нефть и газ, 1994. 417 с.
3. Сорокин Г. М. Трибология сталей и сплавов: учебник для вузов. Москва : Недра, 2000. 317 с.
4. Газоабразивне зношування епоксидних композитів / Полоз О. Ю., та ін. *Вопросы химии и химической технологии*. 2012. № 1. С. 75–80.
5. Ситар В. І., Клименко А. В., Колесник Є. В. Адгезія фенілонових покриттів до металевих матеріалів різної природи. *Вопросы химии и химической технологии*. 2013. № 2. С. 37–41.
6. Спосіб нанесення полімерного покриття на металеву поверхню : пат. 107878 Україна : МПК В05D 1/38 (2006.01). № а 2013 09410 ; заявл. 29.07.2013 ; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.

References

1. Penkin, N. S., Kapralov, E. P., & Malyarov P.V. (1992). *Povyshenie iznosostojkosti gorno-obogatitel'nogo oborudovanij [Increasing the wear resistance of mining and processing equipment]*. Nedra.
2. Vinogradov, V. N., & Sorokin, G. M. (1994). *Iznosostoikost stalei i splavov [Wear resistance of steels and alloys]*. Neft i gaz.
3. Sorokin, G. M. (2000). *Tribologija stalej i splavov [Tribology of steels and alloys]*. Nedra.
4. Poloz, O. Ju., Lypyskyi, S. H., Kushchenko, S. M., Semenets, O. A., & Ebich, Yu. R. (2012). *Hazoabrazyvne znoshuvannia epoksydnykh kompozytiv [Gas-abrasive cleaning of epoxy composites]*. *Voprosy himii i himicheskoi tehnologii – Chemistry and chemical technology issues*, 1, pp. 75–80.
5. Sytar, V. I., Klymenko, A. V., & Kolesnyk, Ye. V. (2013). *Adheziia fenilonovykh pokryttiv do metalovykh materialiv riznoi pryrody [Adhesion of phenylene coatings to metallic materials of different nature]*. *Voprosy himii i himicheskoi tehnologii – Chemistry and chemical technology issues*, 2, pp. 37–41.
6. Klymenko, A. V., Sytar, V. I., Kolesnyk, Ye. V. (2015). *Sposib nanesennia polimernoho pokryttia na metalevu poverkhniu [The method of applying a polymer coating on a metal surface]*. Patent 107878 (UA), МПК В05D 1/38 (2006.01).

UDC 667.637.222

Anton Klymenko, Volodymyr Anisimov, Volodymyr Sytar

DEVELOPMENT OF THIN-LAYER COATINGS BASED ON PHENYLON FOR PROTECTING SURFACES FROM GAS AND HYDROABRASIVE WEAR

Relevance of the research topic. The task of increasing the wear resistance of parts and friction units is due to the tendency to increase their productivity and, consequently, workloads, speeds, temperatures and other parameters.

Formulation of the problem. To improve the performance of friction joints, it is necessary to use materials that combine good adhesive and antifriction properties.

Analysis of recent research and publications. There are a significant number of publications on materials with high antifriction properties and separately with high adhesion properties.

Selection of unexplored parts of the general problem. There is no information on materials that would combine high adhesive properties and good antifriction properties as surfaces that are under gas and hydroabrasive wear.

Setting objectives. The aim of this research is to investigate the combination of adhesive and antifriction properties of phenylon-based materials.

Presenting main material. The adhesion ability of phenylon to classical materials of machines parts and its wear resistance at gas and hydroabrasive wear are investigated. The dependence of intensity of wearing from the angle of attack of the abrasive material is given.

Conclusions in accordance to the article. It was found that, independently of the mode of operation, the greatest wear of phenylon-based coatings occurred at angles of 45°-60°, and starting from the angle of attack of 45 ° changed the mechanism of wear from microcutting to knocking out the polymer in the middle of the test sample.

In both modes of operation, phenylon-based coatings were quite stable, which indicates the possibility of using phenylone as a coating to protect against gas-abrasive wear. But further research is needed, which will be closer to the real operating conditions, with the search for fillers to increase the wear resistance and adhesion of the coating based on phenylon.

Key words: phenylon; adhesion; wear, coating; surface.

Fig.: 6. Table: 2. References: 6.

Клименко Антон Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри інноваційної інженерії, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

Klymenko Anton – PhD in Technical Science, Associate Professor of innovative Engineering Department, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

E-mail: 03udhtu021990@ukr.net

SCOPUS Author ID: 57190270871

Анісімов Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри інноваційної інженерії, Державний вищий навчальний заклад Український державний хіміко-технологічний університет (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

Anisimov Volodymyr – PhD in Technical Science, Associate Professor of Innovative Engineering Department, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

E-mail: wwwovilon@gmail.com

SCOPUS Author ID: 57210901317

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4037-9698>

Ситар Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри інноваційної інженерії, Державний вищий навчальний заклад Український державний хіміко-технологічний університет (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

Sytar Volodymyr – PhD in Technical Science, Professor, Professor of Innovative Engineering Department, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

E-mail: v.sytar@ua.fm

UDC 621.8

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-35-41

Jan Semjon, Lubomir Hriz, Martin Kocan, Alexander Voronko

DESIGN OF ASSEMBLY ROBOTIZED WORKPLACE

Urgency of the research. Replacing manual assembly with robotic workplaces increases the productivity and quality of assembly. Operator at the robotic workplace is necessary to control of the operation processes and adding components to the tanks and removing the finished parts from the appropriate box. This allows the operator to be used parallel for other activities within the production line. The cost of building a robotic workplace is relatively low compared to the rising cost of human labor. This creates a precondition for maintaining the competitiveness of the company.

Target setting. The aim was to design a functional assembly robotic workplace using an affordable SCARA robot from the Dobot company. The designed robotic assembly workplace, after implementation made, should increase assembly productivity.

Actual scientific researches and issues analysis. Increasing productivity without the use of automated or robotic systems is currently not possible. This leads to the spread of robotic applications even in the assembly of relatively simple parts, which are produced in several modifications.

Uninvestigated parts of general matters defining. Improving the quality of assembly production with the using of robotic workplaces is required not only in the company that carries out assembly, but especially from customers of manufactured parts. It leads to reduced in the proportion of human labor to a minimum.

The research objective. The aim was to design such a robotic workplace that would make it possible to relieve a person from monotonous work. Another goal was to increase the quality of pressing two parts and, above all, to increase labor productivity by at least 10%. At the same time, to ensure a minimum participation of the operator at the robotic workplace, so that he can be used for other activities within the assembly line.

The statement of basic materials. The spread of affordable industrial robots with an open architecture has an increasing tendency in larger as well as smaller operations. This leads to the creation of small robotic cells, which can be relatively easily rebuilt according to current needs in the workplace. The article describes the design of a robotic assembly workplace using a SCARA robot. The workplace is designed for the assembly of two parts "A and B", while part "A" is the same for all three final products. The types of connections differ only in their length in three dimensions. A vibrating hopper was used at the workplace for feeding components "A". A special feeder was designed for the feeding of components "B", enabling the feeding of all three lengths of component "B". An automatic pressing station was designed for the assembly of components. The operator of the facility checks the activity of the workplace at regular intervals. It is only necessary to refill the components in the hopper twice per shift.

Conclusions. In this work shows the solution to an important technical problem. The functional of assembly robotic workplace using an affordable SCARA robot from the Dobot company were designed. The designed workplace allows pressing 3 types of assemblies, which differ from each other only by the total length of one component. The designed robotic workplace made it possible to increase productivity by 12% and reduce the presence of the operator to the minimum possible level.

Keywords: robot SCARA; programming; assembly; robotic workplace.

Fig.: 10. References: 7.

Problem definition. Robotic technology already affects all aspects of work and home. Robotics has the potential to positively transform lives and work practices, increase efficiency and safety, and provide increased levels of service. Even more, robotics is set to drive technology that supports a whole new generation of autonomous devices and cognitive accessories that, thanks to their learning abilities, work seamlessly with the world around them, thus providing the missing connection between the digital and physical worlds. Robotics is already a key driver of competitiveness and flexibility in large manufacturing industries. Without robotics, many successful industries would not be able to compete with the current pace of production technology development and the growing demand for products. Robotics is becoming increasingly relevant for smaller industries [1].

The process of robotization is done in order to replace the manual work of man, during more difficult physical manipulation operations. Furthermore, also due to the mental health of a person during monotonous work. The use of industrial robots automates processes throughout the production line to save time and money. Industrial robots reduce waste and produce higher quality products with continuous precision. Robots can handle even the most demanding and dangerous production processes. Every industrial robot application requires a unique tool at the end of the arm, a specific reach, a payload and flexibility. The automotive industry has been one of the fastest growing industries, with industrial robots being the most widely used for a long time. Robots are used in almost all parts of automotive manufacturing and remain one of the most automated supply chains in the world. Industrial robots can significantly improve product quality. Applications are

performed with accuracy and excellent repeatability in every job. This level of reliability can be difficult to achieve in other ways. The disadvantage associated with the integration of robots into the company is the significant initial costs. Continuous maintenance requirements may be added to the total cost. Based on the mechanical configuration, serial industrial robots can be divided into the following main groups: Cartesian robots (TTT), cylindrical robots (RTT), polar (spherical) robots (RRT), articulated robots (RRR) and robots of the SCARA type (RRT or TRR). In addition to the mechanical configuration, industrial robots can also be categorized on the basis of motion control, power supply method and other physical characteristics [1; 2].

The SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) robots have a working space in the shape of a ring and consist of two parallel rotary joints that ensure movement in one selected plane. The swivel joints are positioned vertically, so that the end effector attached to the arm moves horizontally. SCARA robots specialize in sideways movements and are mostly used in the food, medical and assembly industries. It is designed primarily for small and fast tasks. SCARA robots can move faster and integrate more easily than cylindrical and Cartesian robots. Compared to robots with six degrees of freedom, it is not that flexible, but is much faster and has higher repeatability accuracy. Therefore, they are mostly used for pick-and-place operations. The inverted kinematic structure (TRR) gives it further possibilities to apply itself to specific tasks, where the vertical displacement in the Z axis is performed by the whole arm attached to the base. The disadvantage of such an arrangement is the poorer handling ability in the direction of the "Z" axis, if there are obstacles in the working space and it is necessary to insert the component into a deeper cavity [3].

Current status in workplace. At present, the assembly workplace has been designed as a manual workplace, where one operator works with a small lever press. Two components are connected at this workplace. The first is component "A". It is a plastic rod and has three size variants, namely 192, 140 or 90 mm in length. The other dimensions are the same. Component types "B" is a metal roller that is pressed onto component "A". On the left side of Fig. 1 the dimensions of component A and on the right side of component B are seen.

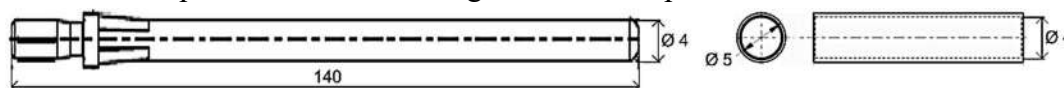


Fig. 1. Dimensions of components A and B

The work procedure in the manual workplace can be divided into three basic steps. In the first step, component A is inserted into the opening of the support of the pressing device. In the second step, component B is inserted. It is inserted into the upper press tool. Subsequently, the third step takes place, namely the insertion of the support under the press and the pulling of the lever, by means of which the two components are pressed together. The last operation that the operator must perform is to remove the moulded assembly from the support. Fig. 2 shows all three basic steps of the process. The first figure on the left shows the process of inserting component A. The figure in the middle shows the insertion of component B into the upper pressing tool. The picture on the right shows an example of pressing components on a hand press.



Fig. 2. Manual assembly process

Proposal of robotized workplace. The proposed robotic workplace has a reserved maximum floor plan measuring of 1550×850 mm. To reduce the built-up area, the workplace will be placed on a work table at a height of 1000 mm, so that it is possible to use the space under the table to store the necessary equipment for the operation of the workplace. The proposed workplace will consist of the following basic parts: a robotic arm (SCARA type robot), a vibrating hopper for components B, a hopper for components A and a pressing station. The principle of operation of the workplace is based on the work procedure used in manual assembly. The task of the deployed robot is to replace a human in the work process, so that his intervention consists only in adding individual components to the magazines. Fig. 3 shows a design of the arrangement of individual parts on the workplace table.

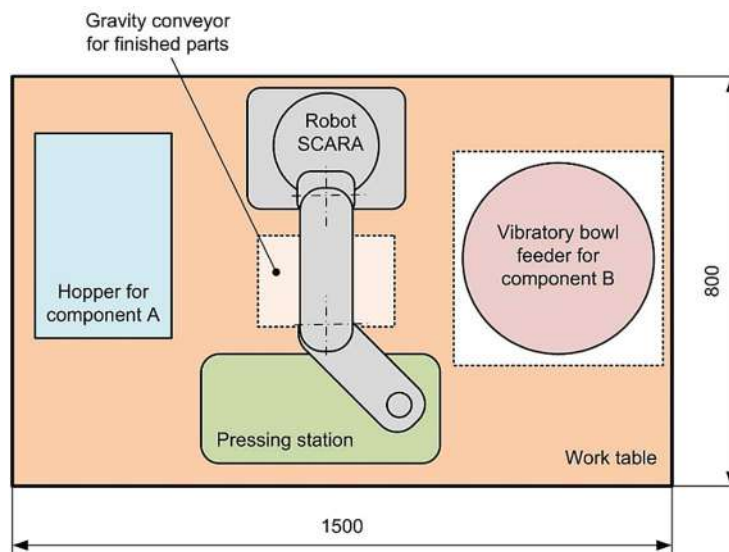


Fig. 3. Arrangement of a robotized workplace

A robot of the SCARA Dobot M1 type was chosen for the needs of handling individual components and the finished part. The reason for choosing a robot was mainly its relatively low price on the market, as well as its parameters and the size of the workspace. The load capacity of the robot is 1.5 kg and the repeatable accuracy +/- 0.02 mm. Fig. 4 shows a view of Dobot M1 and its working space [4].

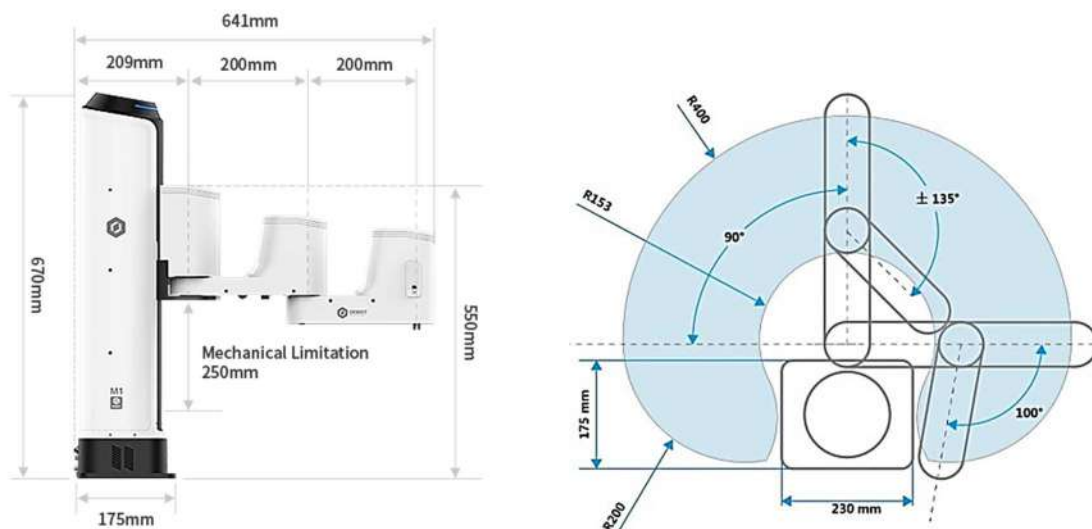


Fig. 4. Robot Dobot M1 [4]

A two-finger gripper from Schunk under the designation MGP 40 was chosen as the end effector for the robot. It is a two-jaw, pneumatic, parallel gripper with flat guide surfaces of the basic jaws. It can be used to grip and move small to medium-sized workpieces in low-contaminated environments, such as assembly lines, laboratories and the pharmaceutical industry. The recommended weight of the handled part is up to 0.55 kg and the pressing force has a value of 110 N [5]. It was necessary to design fingers for the selected effector, which were then printed on a 3D printer. The finger has a circular contact surface with a radius of 3 mm. Component B has the same radius. Component A has a radius of 3.5 mm, which also ensured a relatively good grip. In Fig. 5 a sketch of the proposed finger is displayed.

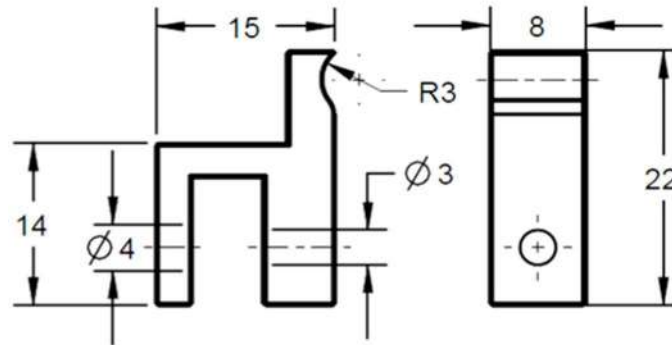


Fig. 5. Basic finger dimensions

The pressing station is used to store component A, then component B. After securing the components in position, the components are pressed. After the pressing is completed, the finished part will be tilted into the gravity trough. Fig. 6 contains a nest (1) for placing component A by means of a robot. Furthermore, the pressing - pneumatic piston (2), which is equipped at the end of the piston rod with a housing (3), into which the robot inserts component B. Another pneumatic piston with locking (4) prevents component A from falling out of the nest during its pressing. After pressing and releasing the finished product, the inclined platform (5) is raised by means of a pneumatic piston (6) located below it. The finished piece slides on this platform and falls through an opening in the workplace table directly into the prepared box.

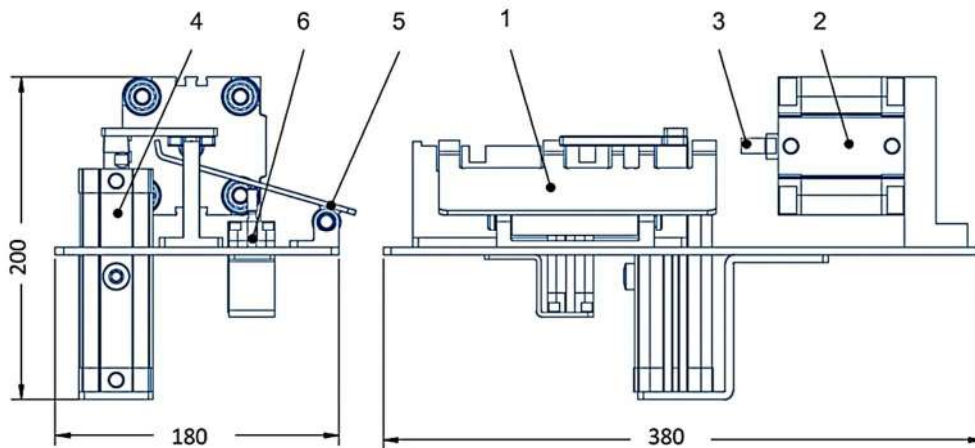


Fig. 6. Pressing station

A vibrating feeder from Hensle, type EMSE 40, was selected for the transport of small components B, which is characterized by a fill weight of up to 20 kg [6]. A pull-out hopper has been designed to supply the workplace with A components. The V-shaped hopper was made of polyurethane and the middle catcher was made of sheet steel. The hopper is provided on both sides with three grooves into which the separating screen is inserted, Fig. 7.

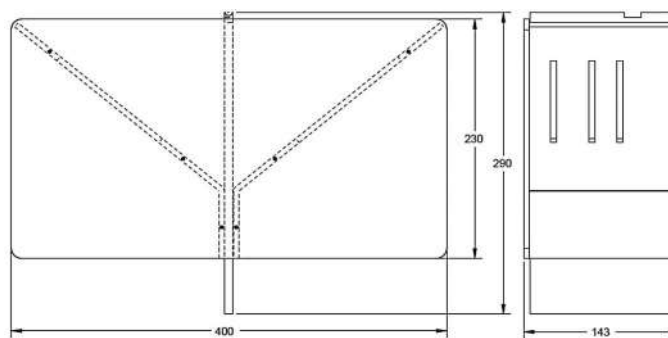


Fig. 7. V-shaped hopper

The separating shield is placed in the appropriate groove, according to the length of the currently pressed component A. The principle of operation is based on the use of gravity and pneumatic extension of the catcher. When the catcher is in the lower position, the components A are stored in the container fitted with the separating shield in an oriented manner. Subsequently, the robot picks up component A and moves it to the pressing station. In Fig. 8 is a view of a container for components A.

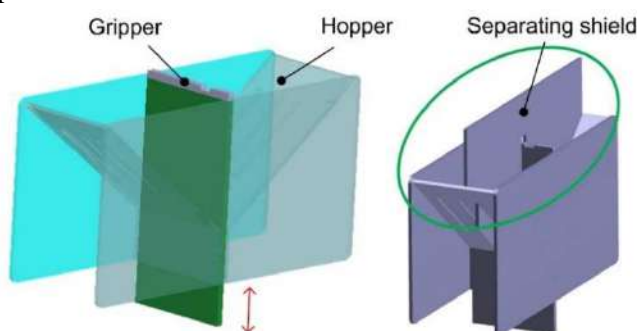


Fig. 8. Magazine for components A

The frame of the designed workplace is made of welded steel closed profiles measuring 50×50×3 mm. The worktop is made of aluminium plate 20 mm thick to maintain sufficient rigidity. Then it is screwed to the workplace frame.

The view of the designed workplace in 3D view is shown in Fig. 9. The height of the workplace is 1608 mm. The workplace shown will be additionally equipped with a protective cover made of clear polycarbonate. The construction of the protective cover will be realized from the use of system aluminium profiles of 30×30 mm. There will be two doors in the front to allow operator and maintenance access. It will be possible to place a box under the workplace table into which the finished parts will fall out.

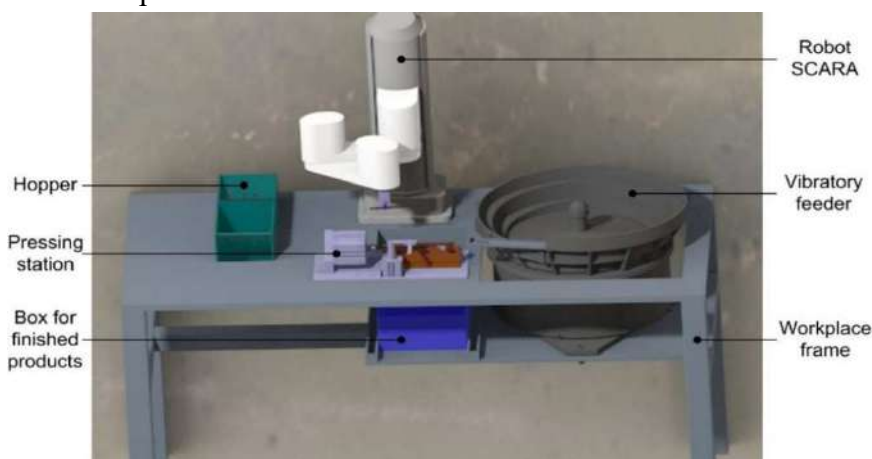


Fig. 9. View of the workplace in 3D view

The design of the workflow and its debugging was implemented in the off-line environment RoboDK [7]. The used SCARA robot was selected from the environment database and then 3D models of other workplace components were added. In addition to checking the mutual overlap of the robot's workspace and individual components of the workplace, a complete program design and its connection with the Simatic S7-1200 control PLC was implemented. In Fig. 10 is a view of a workplace in a RoboDK environment.

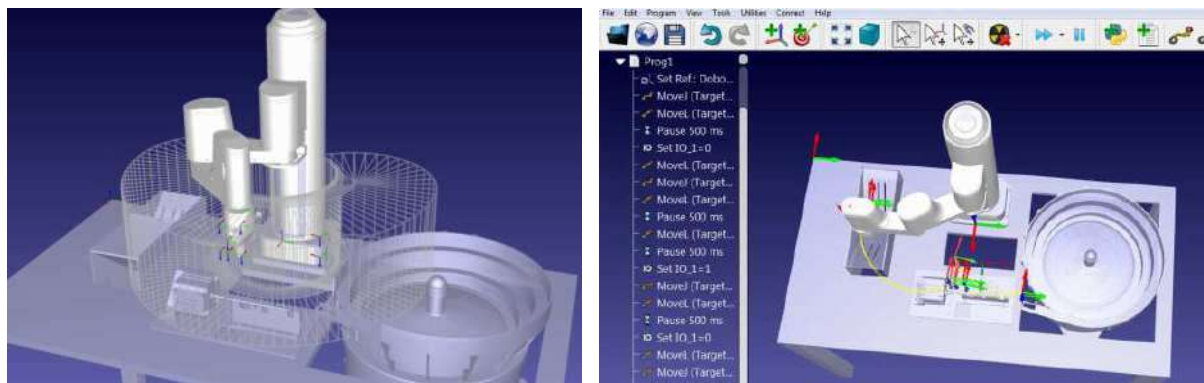


Fig. 10. Workplace in RoboDK environment

The workplace was then equipped with a camera, which also made it possible to monitor the success of the pressing of parts.

Conclusions. This article describes how to replace the monotonous human assembly activity with a SCARA robot. The designed workplace allows pressing 3 types of assemblies, which differ from each other only by the total length of one component. When changing the component type, operator intervention is required to select the correct component length on the HMI panels. In addition, it empties the container for components A and then moves the partition screen to the desired groove. Of course, it is also necessary to empty the box of finished products.

The engineering design of the robotic workplace reduced the time required for the assembly of components by 12%. The operator of the equipment fills the magazine and inspects the workplace every 4 hours, while the rest of the working time is devoted to work at another workplace of the production line.

Acknowledgements. This article was created thanks to the KEGA project support: 010TUKE-4/2020 - Implementation of new knowledge and innovative approaches to the process of teaching robotics in line with Industry 4.

This paper was published in cooperation with company KYBERNETES s.r.o. within the project "Research and development of the ECOGI product at KYBERNETES", ITMS Code of Project: 313012Q955.

References

1. Kolibal, Z., et al. (2016). Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: VUTIUM, 2016. 788 p. ISBN: 978-80-214-4828-5. [in Czech]
2. Hajduk, M., et al. (2015). Robotika - Robotická technika, 1. vyd - Košice : TU, Sjf – 2008, 84 s., ISBN 978-553-0034-4. [in Slovak]
3. Chandrasekaran K., Djuric A., ElMaraghy W.H. (2012). Selection Catalogue of Kinematic Configuration for Pick and Place Application. In: ElMaraghy H. (eds) Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23860-4_6.
4. Dobot M1. Retrieved from <https://www.dobot.cc/dobot-m1/product-overview.html>.
5. Schunk. Retrieved from https://schunk.com/de_en/gripping-systems/product/2422-0340012-mpg-40.
6. HENSLE. Retrieved from https://www.hensle-zufuehrtechnik.de/wp-content/uploads/2016/02/eng_katalog_hensle.pdf.
7. RoboDK. Retrieved from <https://robotdk.com>.

УДК 621.8

Ян Семйон, Любомир Гриз, Мартін Кочан, Олександр Воронько

ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАЛЬНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ

Актуальність теми дослідження. Заміна ручного складання роботизованими робочими місцями підвищує продуктивність та якість складання. Оператор на роботизованому робочому місці необхідний для контролю робочих процесів, додавання компонентів до резервуарів та виїмання готових деталей із відповідного контейнера. Це дозволяє паралельно використовувати оператора для інших видів діяльності на виробничій лінії. Вартість створення роботизованого робочого місця відносно невисока порівняно зі зростанням вартості людської праці. Це створює передумови для збереження конкурентоспроможності компанії.

Постановка проблеми. Завдання полягає в розробці робочого місця для складального робота з використанням доступного робота SCARA від компанії Dobot. Спроектване роботизоване складальне робоче місце після впровадження має підвищити продуктивність складання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення продуктивності без використання автоматизованих або роботизованих систем на даний час неможливо. Це призводить до поширення роботизованих додатків навіть при складанні порівняно простих деталей, які випускаються в декількох модифікаціях.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Підвищення якості складального виробництва з використанням роботизованих робочих місць потрібно не тільки в компанії, що здійснює складання, але особливо замовниками вузлів, що виготовляються. Це призводить до скорочення частки людської праці до мінімуму.

Постановка завдання. Завдання полягало у створенні такого роботизованого робочого місця, яке дозволило б позбавити людину від монотонної праці. Іншою метою було підвищення якості пресування двох деталей і, перш за все, підвищення продуктивності праці не менше ніж на 10%. Водночас необхідно забезпечити мінімальну участь оператора на роботизованому робочому місці робота, щоб він міг виконувати інші дії на складальній лінії.

Виклад основного матеріалу. Поширення доступних промислових роботів з відкритою архітектурою має тенденцію зростання як в великих, так і в дрібних операціях. Це призводить до створення невеликих роботизованих елементів, які можна відносно легко перебудувати відповідно до поточних потреб на робочому місці. У статті описана конструкція роботизованого складального робочого місця з використанням робота SCARA. Робоче місце призначене для складання двох частин «А і В», а частина «А» однакова для всіх трьох кінцевих виробів. Типи з'єднань розрізняються тільки довжиною трьох розмірів. На робочому місці застосовувався вібраційний бункер для подачі компонентів «А». Для подачі компонентів «В» було розроблено спеціальний пристрій подачі, що дозволяє завантажувати компоненти «В» всіх трьох довжин. Для складання компонентів була розроблена автоматична пресова станція. Оператор установки регулярно перевіряє активність робочого місця. Необхідно всього лише двічі за зміну додавати компоненти в бункер.

Висновки відповідно до статті. У даній роботі показано вирішення важливої технічної проблеми. Розроблено функціонального складального робочого місця з використанням доступного робота SCARA від компанії Dobot. Спроектване робоче місце дозволяє пресувати 3 типи вузлів, які відрізняються один від одного лише загальною довжиною одного компонента. Розроблене роботизоване робоче місце дозволило збільшити продуктивність на 12% і скоротити присутність оператора до мінімально можливого рівня.

Ключові слова: робот SCARA; програмування; складання; роботизоване робоче місце.

Рис.: 10. Бібл.: 7.

Jan Semjon – Associate Professor, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production systems and robotics (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: jan.semjon@tuke.sk

Scopus Author ID: 55571411200

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9076-7808>

Lubomir Hriz – Student of engineering studies, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production systems and robotics (Park Komenskeho, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: lubomir.hriz.student@tuke.sk

Martin Kocan – Student of Ph.D studies, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production systems and robotics (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: martin.kocan.student@tuke.sk

Alexander Voronko – Designer, KYBERNETES, s.r.o. (Omska 14, 040 01 Kosice, Slovakia).

E-mail: alexander.voronko@kybernetes.sk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0950-2173>

UDC 621.941-229.3:621.822.172

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-42-47

Peter Marcinko, Juraj Koščák

EXPERIMENTAL METHOD FOR VERIFICATION OF PERFORMANCE CRITERIA OF THE INDUSTRIAL ROBOTS

Urgency of the research. *The interest in this issue is growing. By creating a suitable solution, it is possible to detect damage to the robot. Based on the 9283 standard, a methodology was proposed, according to which it is possible to experimentally measure the working characteristics of industrial robots.*

Target setting. *The main goal was to design a methodology on the basis of which methodological sheets could be developed and to develop and evaluate experimental measurements with the help of these sheets.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Analysis of the publications shows that at present the data acquisition systems about the working characteristics of industrial robots are currently very expensive. These systems use laser interference method.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *This paper is focused on the analysis of a suitable method and the creation of measuring devices for experimental measurements.*

The research objective. *The aim of this research was to create a methodology for measuring quantities. Creation of suitable means and subsequent evaluation of measured values. Data collection using Matlab software should be improved in the future.*

The statement of basic materials. *The analysis consists of the ISO 9283 standard. After a thorough analysis, methodological sheets and measuring devices such as measuring nest were created.*

Conclusions. *Since there is a robot in the department with positioning inaccuracies, it was decided to try to create a suitable tool that would be able to analyse this robot in more detail and obtain data on working characteristics.*

Keywords: *mechanical vibration; mechanical systems; damage; vibrodiagnostics.*

Fig.: 4. Table: 2. References: 8.

Problem definition. Robotics covers the areas of development, research, design and use of robots. It combines knowledge from several scientific disciplines from mathematics, electrical engineering, mechanical engineering, economic to biology. In recent decades, various materials and new technologies have been developed. The deployment of all new robotic applications in which the performance requirements of robots change frequently is closely related to this. Manufacturers are constantly striving to improve production processes to reduce errors and costs. These requirements are taken into account when deploying robotic applications [1].

The most important factors in choosing the correct robot are the accuracy and repeatability of the robot. The choice of the correct robot to perform the intended task consists in getting to know all the working characteristics of the robot in the whole degree of work deployment. One of the other problems is the economic side of the deployed robot. Small companies do not have the capital to provide a new, fully functional robot that can be safely deployed in a robotic application, so it is often the case that small companies are indirectly forced to buy a robot that has already been deployed in operation [2].

It often happens that these used robots are already on the verge of usability. It often happens that the information about the use of the robot is unknown, and this also applies to the maintenance data. Sometimes a robot has a collision with an object in its workspace and this leads to deformation of the arm or damage to other parts. The robot could work at higher loads than prescribed by the manufacturer, which affects the wear of the joints and this leads to a deterioration in the repeatability and overall accuracy of the robot [3].

By measuring the working characteristics of the robot, it is possible to determine the overall condition of the robot and then it is appropriate to evaluate whether such a robot meets the requirements for its re-deployment in operation [4].

The main standards for robotic systems and their general characteristics, safety and terminology are:

- ISO 10218 – safety requirements for industrial robots,
- ISO 13482 – safety requirements for personal care robots,
- ISO 9283 – performance criteria and related test methods,
- ISO 9787 – coordinate systems and motion nomenclatures.

Overview of the standard for experimental measurements. The measured object was an industrial robot of the Scara kinematic structure from the manufacturer Yamaha. This robot is integrated into the educational process and is used mainly for handling operations in laboratory conditions. These measurements were subject to the ISO 9283 standard and are described in more detail at Table 1 [3].

Table 1

Overview of ISO 9283

Charakteristics	Load (% nominal value)		Speed (% nominal value)			Number of cycles	Positions (on the measuring plane)
	50 %	100 %	10 %	50 %	100 %		
1. Pose accuracy	▣	▣	▣	▣	▣	30	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅
2. Pose repeatability	▣	▣	▣	▣	▣	30	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅
3. Distance accuracy and distance repeatability	▣	▣	▣	▣	▣	30	P ₁ -P ₂ -P ₄
4. Distance accuracy	□	▣	▣	▣	▣	30	P ₂ -P ₄
5. Distance repeatability	□	▣	▣	▣	▣	30	P ₂ -P ₄
6. Position stabilization time	▣	▣	▣	▣	▣	3	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅
7. Position overshoot	▣	▣	▣	▣	▣	3	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅
8. Drift pose accuracy	□	▣	□	□	▣	*	P ₁
9. Drift pose repeatability	□	▣	□	□	▣	*	P ₁
10. Path accuracy	▣	▣	▣	▣	▣	10	**
11. Path repeatability	▣	▣	▣	▣	▣	10	**
12. Cornering round-off error	□	▣	▣	▣	▣	3	E ₁ -E ₂ -E ₃ -E ₄
13. Cornering overshoot	□	▣	▣	▣	▣	3	E ₁ -E ₂ -E ₃ -E ₄
14. Weaving stroke error	□	▣	▣	▣	▣	3	E ₁ -E ₂ -E ₃ -E ₄
15. Path velocity accuracy	▣	▣	▣	▣	▣	10	**
16. Path velocity repeatability	▣	▣	▣	▣	▣	10	**
17. Path velocity fluctuation	▣	▣	▣	▣	▣	10	**
18. Minimum posing time	▣	▣	□	▣	▣	3	***
19. Static compliance	****		⊗	⊗	⊗	3	P ₁

* - continuous operation – 8 hours

** - linear path E₁-E₃ and E₃-E₁

*** - more information in the standard

**** - 10 % increase in load from 10% to 100%

□	- non - required
▣	- optional
▣	- required

Conditions of measuring. The conditions for carrying out the measurement must be in accordance with the manufacturer's recommendations, in particular as regards installation. The robot should be functional and, according to the manufacturer, properly mounted and all balancing should be satisfactory. If a warm-up operation is specified, it should be performed. The standard specifies an ambient temperature of (20±2) °C or in the range of 5 to 40 °C [5].

Measurements were performed at an ambient temperature of 20 °C on an industrial robot UR5 with an appropriate control box and control pendant. The verification was performed using a mechanical connection of a flange and a load of 5 kg. The measured points on a given measured plane were also determined by the standard and the location of the measuring cube and the

measuring ball. The test cycles were in accordance with the standard. The vertices C_1 to C_8 denote the vertices of a simple cube, which is located in the part of the working space where the most frequent use of the robot is assumed, Fig. 2.

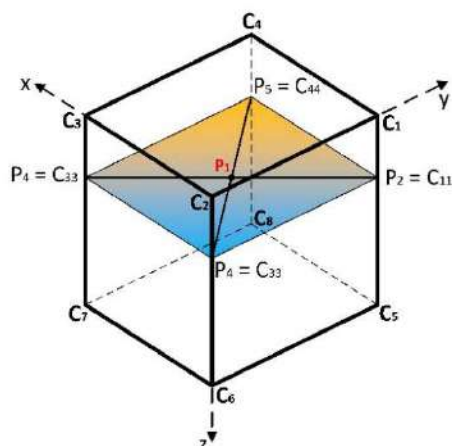


Fig. 1. Measuring plane

Measuring object. The measurements were performed on an industrial robot of atypical kinematic structure, Scara from Yamaha. It is an industrial robot that is flexible in the x and y axes and fixed in the z axis. From the point of view of the proposed construction, this structure should handle demanding operations with the object of manipulation. An available Yamaha YK-600X robot, Fig. 3 with QRCX-RCX 240 controller, was used for measurements. The robotic device consists of three basic parts [6]:

- industrial robot,
- controller,
- teach pendant.



Fig. 2. Yamaha YK 600X

In technical practice, this method is the most used, it is a method that uses measurements of geometry parameters of spatial mechanisms. The basis is the measurement of the deviation of the achieved (actual) position and orientation of the reference body in the working space of the mechanism from the programmed (desired) position. This body can have different shapes.

In the mentioned measurements, a cube or a sphere is used (so-called calibration mandrels are also used). The method is based on measuring the change in position and orientation of a reference body in space. The measuring cube must be geometrically accurate (polished) and is used to measure position and orientation. The measuring ball must also be geometrically accurate for position measurements. These bodies are mechanically attached to the robot interface (mechanical connection). The second method, which was used in the performed measurements, was the method of measuring with a cubic reference body, i.e. the so-called measuring cube. This method involves placing the housing in a measuring socket where the sensors are clamped [7].

The measurements were performed by stopping the body at the test point during the first cycle, which made it possible to reset all sensors. Plate stops were fitted at the ends of the sensors. The next step was to run a program that guaranteed repeated entry and exit of the body into the measuring nest. This gave deviation values from the first reference value. Measuring nest with measuring ball is shown at Fig. 4.

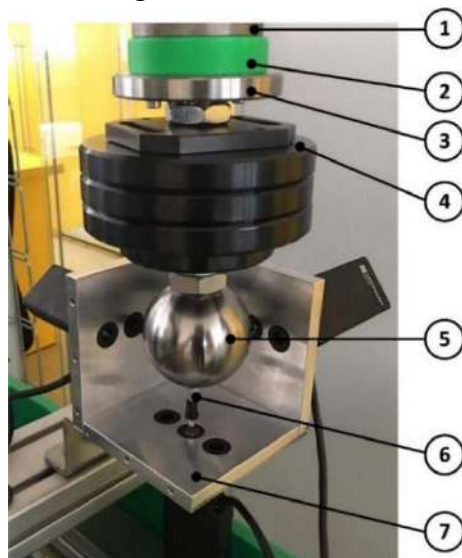


Fig. 3. Measuring of robot Scara

Parts of realized measuring:

- 1) end flange of robot,
- 2) intermediate flange,
- 3) flange of measuring parts,
- 4) nominal load,
- 5) measuring ball,
- 6) sensor
- 7) measuring nest.

Experimental measuring. Formulas from the standard were used to calculate all values. We focused mainly on the values of these working characteristics: pose accuracy, pose repeatability, drift pose accuracy and drift pose repeatability. Overall, the measurements were tested on industrial robots, which did not show any deviation during manipulation or simulation. The measurements were evaluated as satisfactory and therefore this methodology was applied to a Scara robot [8].

Pose accuracy measurements were performed at five points with 100 % load and 100 % speed. 30 measurements were performed and Tab. 2 shows the calculated values.

Table 2

Values of AP

N.m.	P1	P2	P3	P4	P5
1	2	3	4	5	6
1.	0,0255999349	0,0084903213	0,0046888757	0,0035744463	0,0089612747
2.	0,0142626552	0,0065027345	0,0042093811	0,0029399546	0,0022886192
3.	0,0113117933	0,0118216844	0,0038103660	0,0028711206	0,0028468306
4.	0,0051791248	0,0063313155	0,0072745370	0,0045727453	0,0039880377
5.	0,0127732794	0,0063049363	0,0052521953	0,0045434935	0,0039206009
6.	0,0087952639	0,0036173962	0,0008863157	0,0018556221	0,0085188679
7.	0,0297661441	0,0033593981	0,0046027769	0,0054506880	0,0079059752
8.	0,0070064256	0,0056289924	0,0054023657	0,0061625211	0,0085773604
9.	0,0118500352	0,0071006260	0,0060541079	0,0015842980	0,0085812457
10.	0,0137388743	0,0028552097	0,0050976029	0,0028942472	0,0070406755
11.	0,0090529921	0,0059737388	0,0096946148	0,0030946190	0,0039120895

The end of the table 2

1	2	3	4	5	6
12.	0,0175866427	0,0067294543	0,0051236922	0,0066214299	0,0024841721
13.	0,0109189438	0,0056526297	0,0070322274	0,0056783213	0,0025634179
14.	0,0138042264	0,0050483221	0,0073474863	0,0017823206	0,0056543002
15.	0,0099376389	0,0074845767	0,0078730906	0,0033630343	0,0050567886
16.	0,0099141313	0,0068618915	0,0037752115	0,0050441385	0,0504371336
17.	0,0043844422	0,0101629501	0,0050582166	0,0068685273	0,0069453422
18.	0,0059180515	0,0091370430	0,0051366872	0,0032419130	0,0065093096
19.	0,0100609807	0,0091114702	0,0076758640	0,0015416441	0,0057362396
20.	0,0047843495	0,0079552219	0,0068982284	0,0055235858	0,0066360966
21.	0,0091445795	0,0053869183	0,0017470610	0,0033030289	0,0092035017
22.	0,0088820043	0,0056585236	0,0076497640	0,0052258971	0,0053886712
23.	0,0238695762	0,0036173962	0,0048838737	0,0034799425	0,0070406755
24.	0,0182013736	0,0070156175	0,0087551255	0,0033231511	0,0058341904
25.	0,0132924791	0,0045627721	0,0132105597	0,0024172988	0,0045939574
26.	0,0067347358	0,0051979697	0,0115924784	0,0041444742	0,0045575334
27.	0,0111425610	0,0060952623	0,0096048020	0,0033231511	0,0068243030
28.	0,0124615408	0,0052490211	0,0038797193	0,0033827996	0,0039628833
29.	0,0165777964	0,0085138449	0,0036495053	0,0036299679	0,0040707630
30.	0,0200538442	0,0037263327	0,0100325581	0,0063542637	0,0063380684

Altogether, more than 500 measurements were measured, which were then evaluated. The values were plotted.

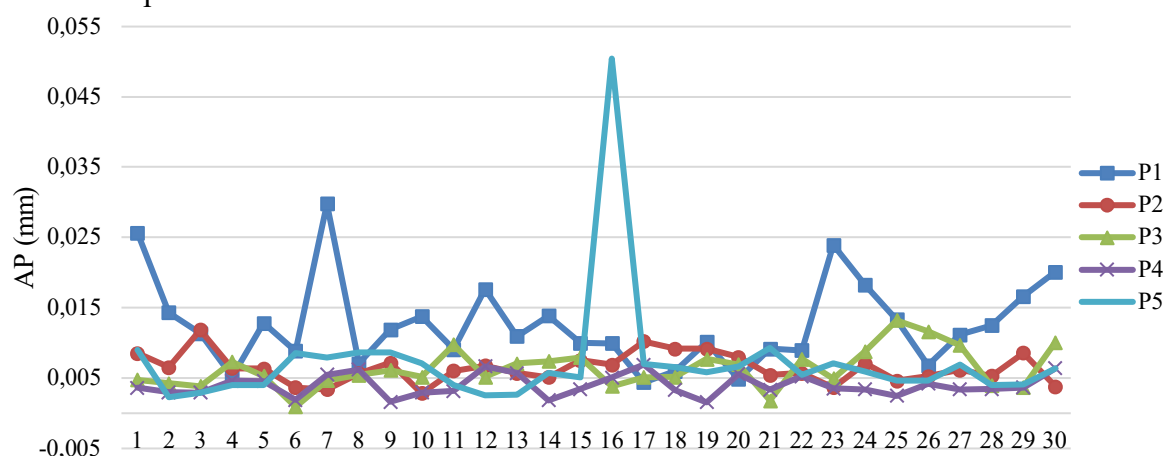


Fig. 4. Graph of plotted values – pose accuracy – AP

The calculated values from the measurements exceed the values specified by the manufacturer, while the measuring point P5 exceeds the values up to three times. This measurement proves that the measured robot exceeds the limits and is thus evaluated as unsatisfactory.

Conclusions. International Standard ISO 9283 further specifies performance criteria for industrial robots and their performance characteristics. The main goal was to design a methodology according to this standard and then test it on a Scara robot. By creating a measuring nest and using the measuring technique, this robot was experimentally verified. Based on the working environment of the robot, the size of the measuring cube or sphere was defined. It was also necessary to create a program according to the required path of movement of the robot, speed, acceleration, but also the number of cycles that were to be repeated. Overall, a large amount of data to be processed has been measured. In the future, it would be possible to improve data collection and thus obtain even larger amount of data.

Acknowledgements. This paper was published in cooperation with company KYBERNETES s.r.o. within the project “Research and development of the ECOGI product at KYBERNETES”, ITMS Code of Project: 313012Q955.

References

1. Velíšek, K., Katalinič, B., Javorová, A. 2006. *Priemyselné roboty a manipulátory*. Slovenská technická univerzita v Bratislave. 183 str. ISBN 80-227-2492-0.
2. Vitralab, Příručka: *Automatizační a robotická technika*, Leonardo da Vinci Programme LLP/LDC/TOI/2009/SK/93100530, Košice, September 2011. Retrieved from http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka_cz_final.pdf (9.11.2020).
3. Marcinko, P.: *Experimentálne pracovisko s robotom SCARA (Experimental workplace with SCARA robot)*. Dissertation thesis. Technical university of Košice. Košice 2020, 115 str.
4. STN EN ISO 9283. *Manipulačné priemyselné roboty. Technické parametre a súvisiace skúšobné metódy. (Manipulating industrial robots. Performance criteria and related test methods)*.
5. Semjon, J., Sukop, M., Vagas, M., Janos, R., Tuleja, P., Koukolova, L., Marcinko, P., Juruš, O., Varga, J. (2018). *Comparison of The Delta Robot ABB IRB 360 Properties After Collisions*. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 20(1), 42-46.
6. *Yamaha 4-axis robot controller. RCX 240. User's manual*. Retrieved from https://www.yr-ginc.com/Catalog/PDF/CurrentManuals/CONTROLLER_E/RCX240_UM_E_V2.02.pdf (11.11.2020)
7. Marcinko, P., Semjon, J. *Experimentálne pracovisko s robotom Scara*. Novus Scientia 2019: zborník príspevkov z 16. medzinárodnej vedeckej konferencie doktorandov strojnícckých fakúlt technických univerzít a vysokých škôl. Košice. Technická univerzita v Košiciach, ISBN 978-80-553-3249-9, str. 107-110.
8. Marcinko, P., Juruš, O.: *An experimental workplace with scara robot*. Technical Sciences and Technologies. Černihiv (Ukraina): Chernihiv National University of Technology Roč. 14, č.4 (2018), ISSN 2411-5363, str. 124-130.

УДК 621.941-229.3:621.822.172

Петер Марцінко, Юрай Кошчак

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ВИКОНАВЧИХ КРИТЕРІЇВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Актуальність теми дослідження. Інтерес до цього питання зростає. Створивши відповідне рішення, можна виявити пошкодження робота. На основі стандарту 9283 була запропонована методологія, згідно з якою можна експериментально виміряти робочі характеристики промислових роботів.

Постановка проблеми. Основною метою було розробити методологію, на основі якої можна було б сформувати методологічні рекомендації та за допомогою цих рекомендацій виконати й оцінити експериментальні вимірювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій показує, що в даний час системи збору даних про робочі характеристики промислових роботів дуже дорогі. У цих системах використовується метод лазерної інтерференції.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Ця стаття зосереджена на аналізі релевантного методу та створенні вимірювальних приладів для експериментальних вимірювань.

Постановка завдання. Метою цього дослідження було створення методології вимірювання величин. Створення придатних засобів та подальша оцінка вимірних величин. Збір даних за допомогою програмного забезпечення Matlab має бути вдосконалений у майбутньому.

Виклад основного матеріалу. Аналіз ґрунтується на стандарті ISO 9283. Після ретельного аналізу були створені методичні рекомендації та вимірювальні прилади, такі як вимірювальний кут.

Висновки відповідно до статті. Оскільки у відділі є робот із неточностями в позиціюванні, було вирішено спробувати створити відповідний інструмент, який міг би більш детально проаналізувати цей робота та отримати дані про робочі характеристики.

Ключові слова: механічна вібрація; механічні системи; пошкодження; вібродіагностика.

Рис.: 4. Табл.: 2. Бібл.: 8.

Peter Marcinko – assistant professor, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production systems and robotics (Park Komenského 8, 042 00 Košice, Slovakia).

SCOPUS Author ID: 57200138054

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2853-5755>

E-mail: peter.marcinko@tuke.sk

Juraj Koščák – Designer, KYBERNETES, s.r.o. (Omska 14, 040 01 Kosice, Slovakia).

(Юрай Кошчак, Юрай Кошчак)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7591-1277>

E-mail: juraj.koscak@kybernetes.sk

UDC (07)621.7,621.8

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-48-56

*Peter Tuleja, Boris Jobbagy***MANIPULATION TASK REALISED BY THE VACUUM SUCTION CUP IMPLEMENTATION**

Urgency of the research. The area covered by the article addresses both the technical and economic aspects of compressed air management, which is the most expensive type of energy used in the manufacturing sector. It is extremely urgent to save energy as it is, not excluding compressed air.

Target setting. The aim of the article is to give a comprehensive picture of the problems in solving one-sided gripping by the action of vacuum. It gives instructions on how to proceed with their removal, with the focus on the procedures for saving basic energy - compressed air.

Actual scientific researches and issues analysis. At present, great attention is paid to this area not only by users of applications using compressed air and vacuum, but also by manufacturers of technology working on these principles. Practically all large manufacturers of pneumatic components are dedicated to it.

Uninvestigated parts of general matters defining. The article does not pay attention to the production and treatment of compressed air, but only its consumption in the preparation of vacuum. Also, in the calculations, only the basic relationships are indicated, by which the experienced user will find a solution to their problem.

The research objective. The aim of the article is to present the results of research in the field and to indicate the possibilities of technical procedures for solving the application of vacuum gripping effectors using active vacuum suction cups.

The statement of basic materials. The material which became the article base consists of both general knowledge contained in the technical literature, as well as own analyzes of partial data summarized in the conclusions.

Conclusions. The conclusions resulting from the article offer instructions for solving a set of problems in the design of vacuum gripping effectors with suction cups.

Keywords: manipulation, manipulation task, compressed air, vacuum, suction cup, pneumatic circuit.

Fig.: 10. **Table:** 1. **References:** 5.

Introduction. Automated production is based on a number of handling tasks. Although manipulation is considered an unproductive component of production, but without it we cannot imagine production. Manipulated objects (semi-finished products, workpieces) are made of various materials and have many surface properties. These properties are often specific. Nevertheless, it is necessary to meet the basic condition of the handling task: the handling object (O_M) must be unambiguously grasped and fixed by the means of the gripping means and guaranteed during the whole period of transport to the target position.

The means intended to fulfill the handling task is referred to as the *gripping effector*.

Gripping effector. The solution of its construction results from the application properties of the manipulation task. It consists in a suitable arrangement of various kinematic chains, which allow the transfer of forces from the used drive (pneumatic, hydraulic, electric) to the O_M . This creates the required *gripping force*.

This force can be applied to O_M in various ways [3]:

in the form of contact with O_M at two or more points;

in the form of contact with O_M at one point relative to the fixed base (passive grip - without the action of the drive);

in the form of contact with O_M at one point without additional support (one-sided gripping).

One-sided gripping with an active suction cup. One-sided gripping excludes the possibility of O_M support at some auxiliary point. The entire weight of the O_M is fixed only by the effect of the effector. Therefore, the force effects of this weight during the handling task must be thoroughly analyzed.

Each of the known methods of one-sided gripping [3] is based on a certain physical nature of the gripping force. In the case of gripping with an active suction cup, it is a vacuum. However, the contact force of the effector with O_M during handling is negatively affected by the weight of the O_M itself (static gravitational force, or tilting moments), as well as the forces resulting from the dynamic effects of the manipulator (manipulator, robot). The force balance on a static (stationary) suction cup is shown in Fig. 1. This is an ideal situation where the center of the suction cup (TCP) and the position of the center of gravity of the O_M (T_{OM}) are identical.

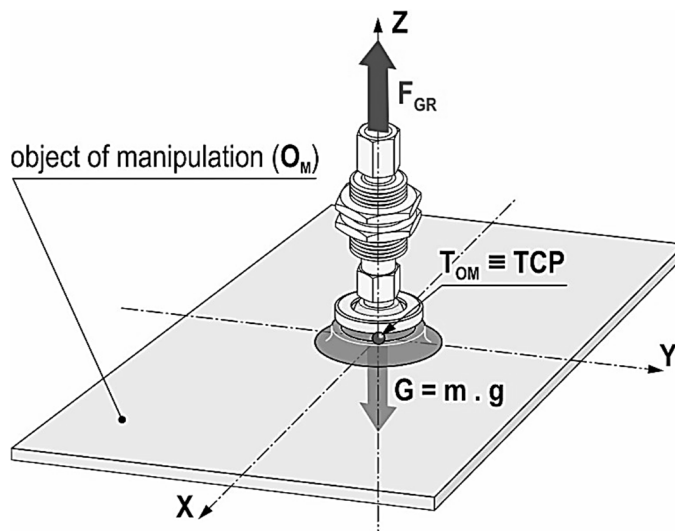


Fig. 1. Force ratios when gripping with a suction cup

The theoretical force of the suction cup is expressed by the relationship

$$F_T = 10^{-3} \cdot S_{ef} \cdot p_v \quad [N] \quad (1)$$

where S_{ef} is the effective area of the suction cup [mm²], Fig. 2, p_v is the pressure value, expressed as the absolute value of the relative vacuum in [kPa]. Thus, as can be seen from Fig. 2, the effective area of the suction cup will be calculated from the dimension D_{1e} .

However, this value is not easy to determine in technical practice, therefore it is necessary to relate the gripping force of the suction cup to the effective area of the suction cup stated for a specific type of suction cup by the manufacturer. The contour diameter of an unloaded suction cup is usually considered to be the effective diameter and the difference from reality is neglected. Therefore, in the following relations, we will state the effective diameter of the suction cup only as the diameter of the suction cup d [mm].

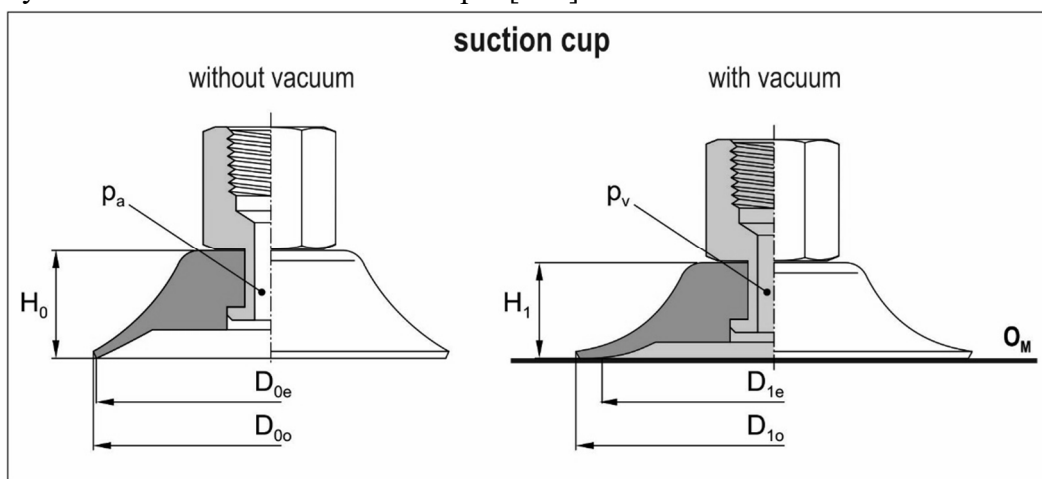


Fig. 2. Determination of the effective area of the suction cup

Then the relation for calculating the theoretical force of the suction cup will be

$$F_T = 10^{-3} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_v \quad [N] \quad (2)$$

The effective (real) force of the F_{GR} suction cup is then determined by the relationship

$$F_{GR} = \frac{1}{t} \cdot F_T = \frac{10^{-3} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot p_v}{4 \cdot t} \quad [N] \quad (3)$$

The coefficient t is determined according to the real situation of the manipulation accelerations acting from Table:

Table

Dynamic conditions during suction cup handling [1]

$n \cdot F_U = F_D$							
$F_U = \frac{10^{-3} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot p_v}{4 \cdot t}$			$F_D = m \cdot (a \pm g)$				
$a = a_x + a_y + a_z$							
$F_D = F_x + F_y + F_z$							
$F_x = F_{t1} = \frac{m \cdot a_x}{\mu}$		$F_y = F_{t2} = \frac{m \cdot a_y}{\mu}$		$F_z = F_n = F_U = m \cdot (a_z \pm g)$			
①	$\pm a_z \neq 0$	$\pm a_x = \pm a_y = 0$		③	$\pm a_z \neq 0$	$\pm a_x = \pm a_y = 0$	
	$\mu = 1$	$t = 4$			$\mu < 1$	$t = 8$	
②	$\pm a_z \neq 0$	$\pm a_x$ and/or $\pm a_y \neq 0$		④	$\pm a_z \neq 0$	$\pm a_x$ and/or $\pm a_y \neq 0$	
	$\mu < 1$	$t = 8$			$\mu < 1$	$t = 8$	

Creating sufficient gripping force on the suction cup means creating perfect contact of the suction cup with the O_M surface and generating a sufficiently high-quality vacuum under the suction cup. From relation (1) it is obvious that in addition to the quality of the vacuum under the suction cup, the size of the gripping force will also be determined by the diameter of the suction cup (its effective area).

It often happens that a vacuum generator is sought to increase the gripping force of the suction cup, which ensures a high value of vacuum quality.

Increasing the active area of the suction cup(s) is a much more gradual way. This means that, if circumstances allow, it is more advantageous to use more suction cups or a suction cup with a larger diameter than to spend money to generate a "super-quality" vacuum.

It is necessary to realize that the vacuum in the handling tasks is generated by jet generators – ejectors much more often than by a vacuum pump.

However, this means that compressed air must be used to create a vacuum. Its consumption then determines the total cost of operating the device with suction cups.

If we look at the balance on the ejector, Fig. 3, we will realize a few basic rules for the use of vacuum:

the quality of the vacuum and the volume of the intake air do not increase proportionally and indefinitely with increasing pressure, Fig. 3a), 3c);

the air consumption per ejector increases in direct proportion to the increasing pressure, Fig. 3b);

the volume of the intake air is stopped only after reaching the maximum vacuum which the ejector is capable of, Fig. 3d).

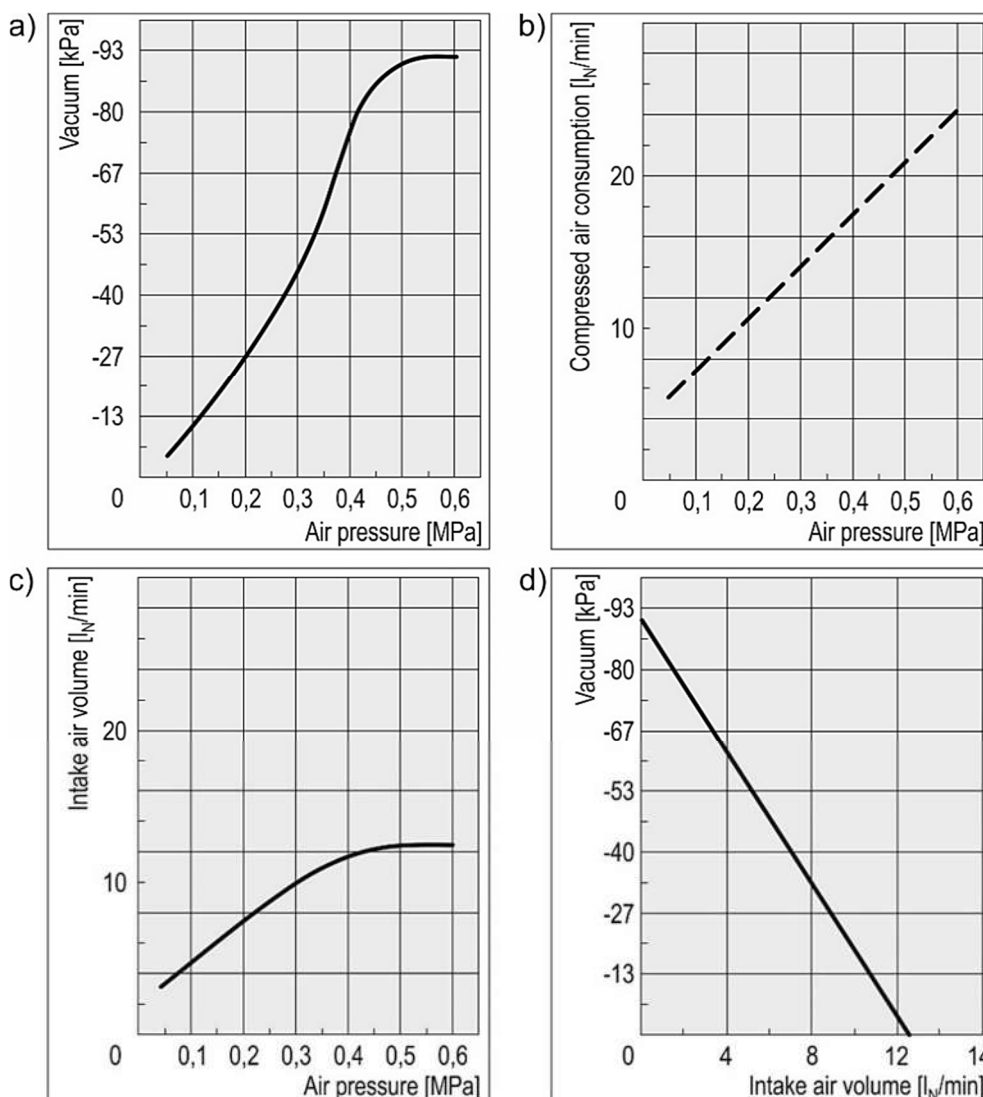


Fig. 3. Pressure and flow ratios on the ejector

Source: [4]; modified by the authors.

It is pointless to increase the pressure of the air entering the ejector above the level of 0.5-0.6 MPa, as in the nozzle-diffuser system of the ejector the flow rate rises above a critical value (speed of sound in air), which causes the so-called "rupture" of the vacuum. The suction cup stops acting on O_M .

Also from course d) in Fig. 3, it is clear that the imperfectly sealed volume under the suction cup almost absolutely negates the value of the vacuum generated by the ejector. This must be kept in mind if we cannot ensure guaranteed occupancy of all suction cups, Fig. 4.

In cases where the occupancy guarantee is not possible, either due to a missing object, Fig. 4a) or displacement of the manipulation object, Fig. 4b), it is necessary to solve the situation in one of the ways shown in Fig. 5; variant a) represents the use of a non-return valve which is "deactivated" in the presence of an object, variant b) considers the use of a vacuum saving valve [4].

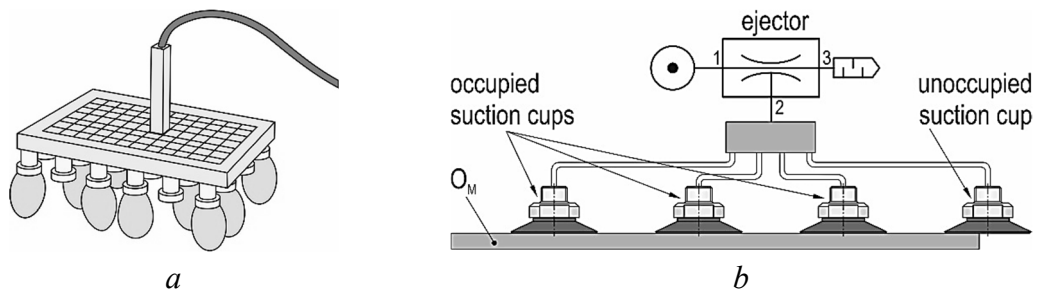


Fig. 4. Reasons for "vacancy" of the suction cup [1],[5]

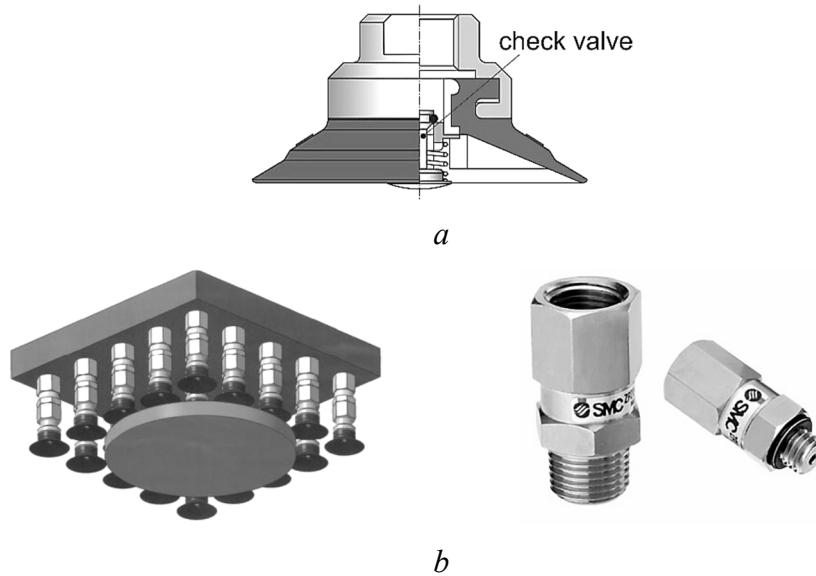


Fig. 5. Solution of "vacancy" of the suction cup [1; 4; 5]

Energy for vacuum production. As it was already mentioned, in order to create the gripping force of the suction cup, a vacuum under the suction cup sleeve is required, which at the moment of its generation must already have contact with the O_M surface by a suitable mechanism.

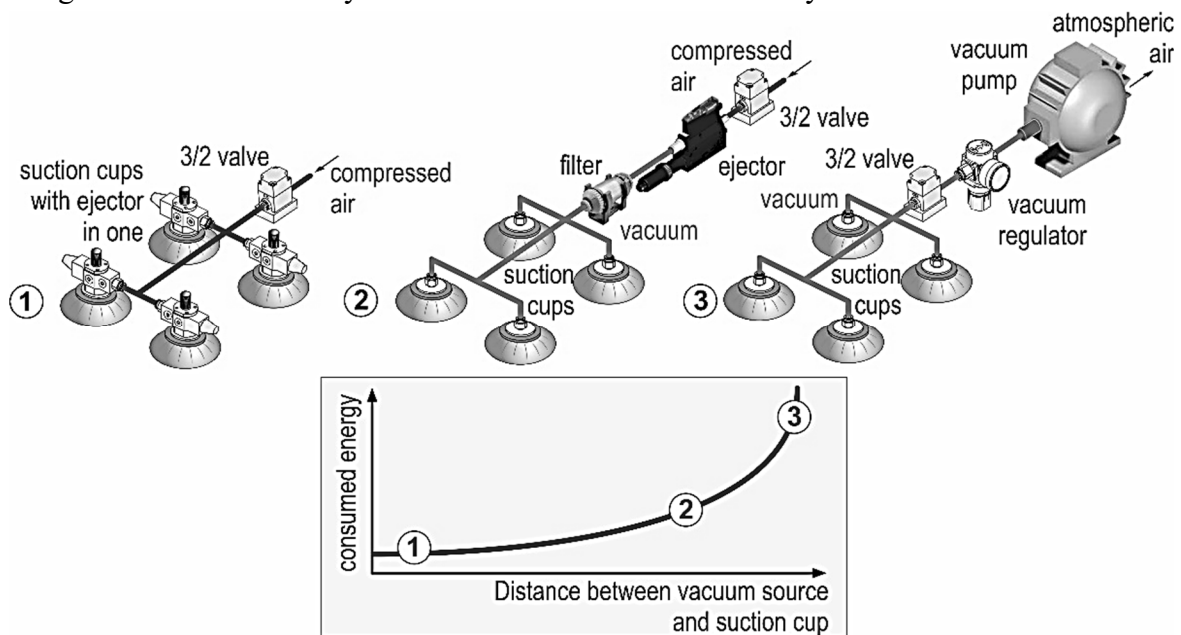


Fig. 6. Comparison of energy requirements for suction cup activation [5] modified

We have also already stated that in manipulation tasks performed by robotic technology, the method of generating vacuum by a jet generator, so an ejector, is much more frequently used. This ensures a higher readiness and reaction time of the effector during the handling task, as the developer can be placed close enough to the suction cup and thus the loss of vacuum through the transmission system is eliminated (Fig. 6). Then only the compressed air distribution is needed (vacuum distribution does not have to be specially designed), it is even possible to eliminate the losses of its distribution using the ejector-suction cup combination. This reduces the energy requirements for operation, Fig. 6.

The volume of compressed air flowed directly depends on the pressure of the flowing air and the quality of the developed vacuum, Fig. 3.

From the diagram in Fig. 3a) it follows that the quality of the vacuum increases almost linearly only in the range of inlet pressures from 0.2 MPa to 0.5 MPa. The effective value of the maximum inlet pressure is approximately at the level of 0.4 MPa. Even at this inlet air pressure, the value of the developed vacuum is at the level of about -85 kPa, i.e. about 84% of the maximum achievable vacuum (absolute zero in the pressure spectrum represents the value of 100% vacuum; but this can only be considered in the theoretical level).

It is therefore clear that in order to achieve a high level of vacuum, the corresponding pressure is required and increasing it brings two problems at the same time: the compressed air consumption increases (if we increase the inlet pressure on the ejector from 0.2 MPa to 0.5 MPa, the air consumption will increase by about 25 l_N/min, which means that for one working shift, i.e. 8 hours "unnecessarily" we consume compressed air worth about 400 EUR) and if we exceed the magic pressure limit of 0.6 MPa stated by most manufacturers, the already mentioned "rupture" of the vacuum.

Therefore, it is more advantageous to solve the magnitude of the gripping force on the one-sided gripping effector with active vacuum suction cups by the size of their total contact area with O_M (suction cup size) than by disproportionately increasing the vacuum quality, Fig. 7.

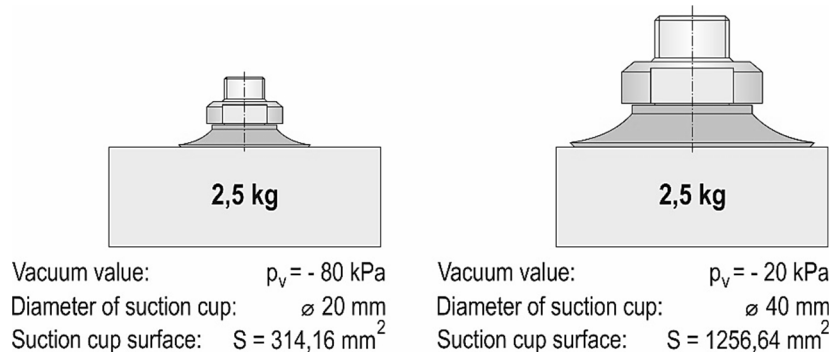


Fig. 7. Dependence of suction cup force ratios on vacuum quality and size of suction cup contact area with O_M [5; 2]

Thus, saving a vacuum actually means saving compressed air. This is all the more urgent when world statistics show that up to 75 % of the world's total compressed air is used to blow surfaces and prepare vacuum in ejectors.

Methods of vacuum saving. The starting point is to determine the effective gripping force required for safe handling of O_M. It already takes into account the dynamics of the movement of the manipulator (e.g. robot) [1]. In the calculations we use the value of the compressed air pressure in the circuit of max. 0.5 MPa. The choice of a suitable ejector then directly depends on the value of the required vacuum determined when calculating the size and number of suction cups [1]. Of course, the pressure level can be adjusted by optimization.

When choosing an ejector with the required vacuum quality, we often come across the fact that the quality and the required suction volume (ejector flow) are in contradiction with each other. If a high-quality vacuum is required, the ejector must have a small nozzle diameter, for

volume we need this diameter as large as possible. As a result, it is not possible to achieve an optimal setting with a single-stage ejector. Therefore, it is necessary to choose either a two- or three-stage ejector, which will have a vacuum quality only slightly lower than a single-stage, the suction volume will increase (depending on the number of stages) by 40 to 250 %.

This has a huge effect on the conditions on the effector, as in order to gain the grip strength by increasing the diameter of the suction cup, the volume under its cuff will necessarily increase. If we are to create a perfect force connection of the suction cup with the object, we must "get rid" of the atmospheric air under the suction cup as quickly as possible. In addition, the volumes of hoses, couplings and other components of the vacuum circuit must be included in the total volume, fig. 8. All these volumes are taken into account in determining the required suction power of the ejector.

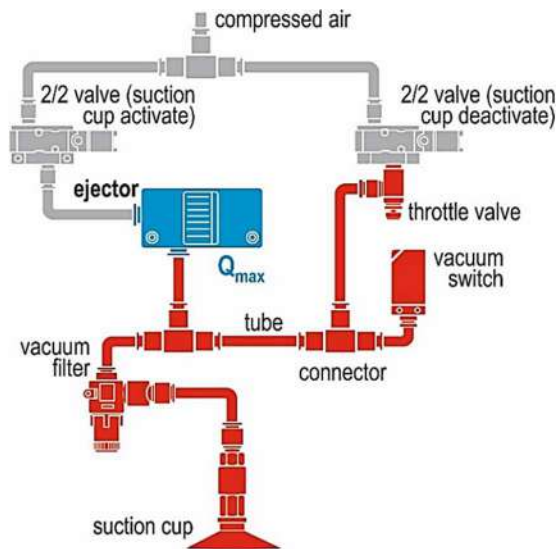


Fig. 8. Vacuum circuit volume balance [2]

Associated with this is the determination of the value of the so-called evacuation time T_1 and its multiples, Fig. 9.

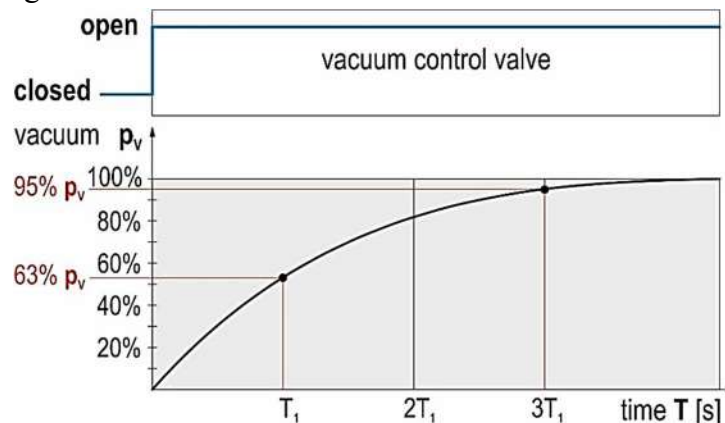


Fig. 9. Evacuation times of ejector

The vacuum in the ejector, if the circumstances of the handling task allow it, should not be developed throughout the handling task. To activate the vacuum under the suction cup, a short pulse of the compressed air stream is enough to generate a vacuum (of the order of 1-1.5 s), which will ensure that the suction cup adheres to the O_M surface, Fig. 10a).

Due to the non-return valve 1SV01 installed in the circuit, the vacuum under the suction cup is "locked" and its value is sufficient to keep the O_M in contact for the entire duration of the handling task, fig. 10b). To release the suction cup at the O_M storage location, it is sufficient to supply suitably throttled (throttle valve 1R01) compressed air for a short time (approx. 0.5 s).

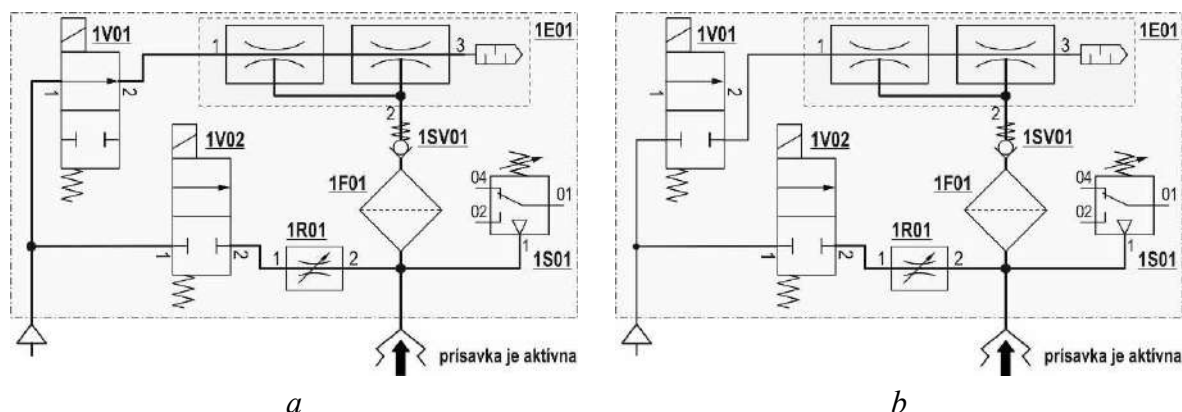


Fig. 10. Saving compressed air by arranging the circuit correctly

Conclusion. As shown in the article, the solution of air consumption as a large financial cost item in the operation of automated production is a current issue in the operation of the company. The basic premise of cost reduction is the rule: you save the most on what you don't have to produce. A suitable arrangement of the vacuum circuit for solving handling tasks with the use of gripping effectors with one-sided gripping (suction cups) is thus the most effective way to reduce operating costs just to implement such solutions.

Acknowledgment. This article was created thanks to the support of the KEGA project: 010TUKE-4/2020 Implementation of new knowledge and innovative approaches to the process of teaching robotics in the intentions of Industry 4.

This paper was published in cooperation with company KYBERNETES s.r.o. within the project "Research and development of the ECOGI product at KYBERNETES", ITMS Code of Project: 313012Q955.

References

1. Hajduk, M., Tuleja, P.: Základy pneumatických mechanizmů I.: Výroba, úprava a rozvod stlačeného vzduchu a vakuu, TU v Košiciach, Košice, 2013, ISBN 978-80-553-1605-5.
2. Hajduk M., Šidlovská E., Tuleja P.: Unilateral Gripping Mechanism Effectors, In: Applied Mechanics and Materials, Vol. 332 (July 2013), section OPTIROB 2013, Chapter 3: Robotics and Automation Systems, Control, pp. 181-185, Trans Tech Publications 2013, Switzerland, ISSN: 1662-7482.
3. Tuleja, P.: Design and realization of grippers with permanent magnets. Technical sciences and technologies: scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv National University of Technology, 2019. – № 3 (17). – 314 p., pp 105-110, ISSN 2411-5363. Access method: <https://tst.stu.cn.ua/articles/1578582029235.pdf>.
4. <https://www.smc.eu/sk-sk/produkty-a-podpora>.
5. <https://www.piab.com>.

УДК (07)621.7.621.8

Петер Тулея, Борис Джоббегі

ЗАДАЧА МАНІПУЛЯЦІЇ, РЕАЛІЗОВАНА ЗА ДОПОМОГОЮ ВАКУУМНОЇ ПРИСОСКИ

Актуальність теми дослідження. У цій статті розглянуто як технічні, так і економічні аспекти керування стисненим повітрям, яке є найбільш дорогим видом енергії, що використовується у виробничому секторі. Дуже важливо економити енергію як таку, не виключаючи і стиснене повітря.

Постановка проблеми. Мета статті – дати вичерпне уявлення про вирішення завдання одностороннього захоплення за допомогою вакууму. У роботі надано рекомендації щодо їх вирішення з акцентом на шляхи для економії основної енергії – стисненого повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині цій сфері приділяють велику увагу не тільки користувачі, що використовують стиснене повітря і вакуум, а й виробники техніки, що працюють із ними. Цим займаються практично всі великі виробники пневматичних компонентів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У статті не приділяється увага виробництву й обробці стисненого повітря, а тільки його витраті на отримання вакууму. Також у розрахунках вказуються тільки основні взаємозв'язки, за якими досвідчений користувач знайде рішення своєї проблеми.

Постановка завдання. Мета статті – представити результати досліджень у цій області та вказати можливості технічних процедур для вирішення проблеми застосування вакуумних захватних ефекторів із використанням активних вакуумних присосок.

Виклад основного матеріалу. Матеріал, який став основою статті, складається як із загальних знань, що містяться в технічній літературі, так і з власного аналізу часткових даних, узагальнених у висновках.

Висновки відповідно до статті. У висновках, зроблених у статті, надано рекомендації для вирішення комплексу завдань із проєктування вакуумних захватних ефекторів із присосками.

Ключові слова: маніпуляція; маніпуляційне завдання; стиснене повітря; вакуум; присоска; пневматичний ланцюг. Рис.: 10. Табл.: 1. Бібл.: 5.

Tuleja Peter - Eng., PhD, assistant professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics, Robotics and Production Systems, Department of Production Systems and Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia

E-mail: peter.tuleja@tuke.sk

Scopus Author ID: 55570858300

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6390-3109>

Jobbagy Boris - Eng., PhD, KYBERNETES, s. r. o., Omska 14, 040 01 Kosice, Slovakia

E-mail: boris.jobbagy@kybernetes.sk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0491-0442>

УДК 674.022:621.715

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-57-64

Сергій Сапон, Олександр Космач

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБКИ

Актуальність теми дослідження. Застосування сучасних засобів технологічного оснащення дозволяє підвищити продуктивність процесів деревообробного виробництва, точність і якість дерев'яних виробів та меблів. Також технологічне оснащення дозволяє розширити технологічні можливості деревообробного обладнання, інструменту, забезпечити безпечні умови праці при механічній обробці деревини.

Постановка проблеми. При проектуванні технологічних процесів деревообробного та меблевого виробництва задача вибору або проектування засобів технологічного оснащення існує завжди. Для обґрунтованого вибору або проектування засобів технологічного оснащення в деревообробному виробництві важливе значення має аналіз функціонального призначення.

Аналіз досліджень і публікацій присвячено роботам з питань функціонального аналізу технічних систем та вибору технологічного оснащення.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Питанням вибору та проектування засобів технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва на сьогодні приділено мало уваги в науковій літературі. Аналіз та систематизація функцій технологічного оснащення для деревообробки дозволить здійснювати їх більш обґрунтований вибір та проектування.

Метою статті є визначення функцій технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва для більш обґрунтованого вибору та проектування.

Виклад основного матеріалу. На основі принципів та підходів функціонального аналізу технічних систем у роботі представлено методичку формулювання функціонального призначення технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва. Сформульовано основні й допоміжні функції на прикладі кондуктора з регульованою міжосьовою відстанню. Наведено приклад формулювання функціонального призначення пристрою для механічної обробки дерев'яної заготовки.

Висновки відповідно до статті. У роботі вперше запропоновано загальний підхід до функціонального аналізу технологічного оснащення для деревообробки. Визначено функції технологічного оснащення та продемонстровано їх прикладне застосування. Представлені матеріали можна використати для обґрунтованого вибору чи проектування засобів технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва.

Ключові слова: технологічне оснащення; функціональне призначення; деревообробка; меблеве виробництво.

Рис.: 3. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Технологічне оснащення відіграє важливу роль у процесах ручної та механічної деревообробки, деформування, складання (склеювання) елементів дерев'яних конструкцій, виробів чи меблів. Застосування сучасних засобів технологічного оснащення дозволяє підвищити продуктивність процесів деревообробного виробництва, точність і якість продукції, що виготовляється. Крім цього, технологічне оснащення дозволяє розширити технологічні можливості деревообробного обладнання та механізованого деревообробного інструменту. Застосування затискних та притискних елементів технологічного оснащення при механічній обробці деревини та деревинних матеріалів дозволяє забезпечити безпечні умови праці.

Постановка проблеми. При проектуванні технологічних процесів деревообробного та меблевого виробництва неодмінно постає задача вибору або проектування продуктивних, високотехнологічних засобів технологічного оснащення. При цьому неодмінним є врахування економічних та функціональних критеріїв. Тому аналіз функціонального призначення має важливе значення для обґрунтованого вибору або проектування засобів технологічного оснащення в деревообробному виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням функціонального аналізу технічних систем присвячено достатню кількість наукових праць [1-3]. Зокрема в монографії Б. Пальчевського [1] в загальному вигляді представлено поетапну технологію функціонального аналізу технічної системи. У роботі [4] розглянуто особливості функціонально-вартісного підходу до формування структури технологічної операції, зокрема – до вибору технологічного оснащення. Аналіз впливу основних факторів на вибір системи технологічного оснащення наведено у [5]. Стаття [6] загалом є першою спробою виявлення та систематизації особливостей технологічного оснащення для деревообробки й меблевого виробництва.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Питанням вибору та проектування засобів технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва в наявній науковій літературі приділено дуже мало уваги. Аналіз та систематизація функцій технологічного оснащення для деревообробки дозволить здійснювати їх більш обґрунтований вибір та проектування.

Метою статті є визначення функцій технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва для більш обґрунтованого вибору та проектування.

Виклад основного матеріалу. Функціональний аналіз спрямований на детальне дослідження технологічних процесів у будь-якій технологічній системі [1-3]. Функціональний аналіз технологічного оснащення для деревообробки як технічної системи включає такі основні етапи:

1) Загальне формулювання проблеми, для вирішення якої потрібно технологічне оснащення, визначення та опис процесу, для реалізації якого необхідні засоби технологічного оснащення.

2) Декомпозиція загальної проблеми на окремі цілі та формулювання основних і допоміжних функцій технологічного оснащення, за допомогою яких будуть досягнуті окремі цілі.

3) Визначення якісних і кількісних характеристик та формування критеріїв вибору (проектування) конструктивних елементів технологічного оснащення для реалізації основних і допоміжних функцій.

4) Систематизація шляхів досягнення мети вибору або проектування технологічного оснащення для деревообробки, аналіз та вибір альтернативних варіантів.

Перш ніж приступити до функціонального аналізу будь-якої технічної системи необхідно чітко усвідомлювати мету її створення. Якщо перед технічною системою не поставлена або не сформульована мета її створення – функціональний аналіз не має сенсу [1].

Незалежно від того, проектується технологічне оснащення чи вибирається з вже існуючого, насамперед необхідно здійснити аналіз вихідних даних. Від ґрунтового і всебічного аналізу вихідних даних безпосередньо залежить виконання пристроєм свого функціонального призначення. Будь-які помилки або невизначеності у вихідних даних найчастіше приводять до ускладнення вибору або недосконалості конструкції спроектованого технологічного оснащення. Велику частину вихідних даних отримують із креслеників елементів дерев'яних конструкцій, виробів чи меблів та розробленого технологічного процесу їх виготовлення.

У загальному випадку, при виборі або проектуванні технологічного оснащення для деревообробки або меблевого виробництва необхідно мати наступні вихідні дані:

- обґрунтовані та максимально конкретизовані з необхідними числовими показниками вимоги до конструкції, технологічних можливостей та експлуатаційних характеристик технологічного оснащення (точність, продуктивність, експлуатаційна надійність та довговічність тощо);

- кресленики дерев'яної конструкції, виробу чи меблів із необхідними технічними вимогами;

- фрагмент або повний технологічний процес виготовлення деталі, елемента дерев'яної конструкції, виробу чи меблі, що дає інформацію про послідовність обробки, поверхні, які вже оброблені та ще не оброблені, вимоги до точності обробки (складання);

- операційний ескіз на операцію, для якої розробляється технологічне оснащення (інформація про схему базування і закріплення дерев'яного виробу);

- операційна карта (технологічний регламент) та ескіз операції для якої вибирається або розробляється технологічне оснащення, що дає інформацію про послідовність та зміст переходів, схему базування і закріплення дерев'яного виробу, інструмент, обладнання, режими обробки, норму часу на встановлення, закріплення і зняття виробу;

- інформація про обсяг випуску деталей, елементів дерев'яної конструкції, виробу чи меблів;

- технічні характеристики технологічного устаткування (електричного механізованого інструменту), де буде використано технологічне оснащення.

Наведений перелік вихідних даних для розробки технологічного оснащення для деревообробки, складання (склеювання) дерев'яних виробів та меблів не є виключно обов'язковим у повному обсязі. Залежно від характеру виробництва, задач, для яких проєктується (вибирається) технологічне оснащення, наведений перелік вихідних даних може бути скорочений або розширений до необхідного й достатнього рівня інформативності.

Наявність і повнота вихідних даних дозволяє на основі функціонального аналізу максимально точно сформулювати функціональне призначення технологічного оснащення для деревообробки, складання (склеювання) дерев'яних виробів та меблів.

Декомпозиція загальної проблеми на ряд окремих цілей є необхідним етапом практично будь-якого проєктування технічного об'єкта. Сформулювати окремі цілі, які в комплексі вирішують наявну проблему, важливо насамперед для формулювання основних і допоміжних функцій технологічного оснащення, за допомогою яких будуть досягнуті окремі цілі.

Будь-яка технічна система містить систему службових функцій, які визначають принцип її функціонування, і конструктивно являє собою сукупність конструктивних елементів для реалізації цих функцій [7].

Певна конструкція може реалізувати лише одну функцію, але та сама функція може бути реалізована різними варіантами конструкції.

Наприклад, функція притискача – забезпечити щільне й безперервне прилягання оброблюваної дерев'яної заготовки до установчих елементів або поверхонь верстата (технологічного оснащення) може реалізовуватись різним конструктивним виконанням (рис. 1) [8].

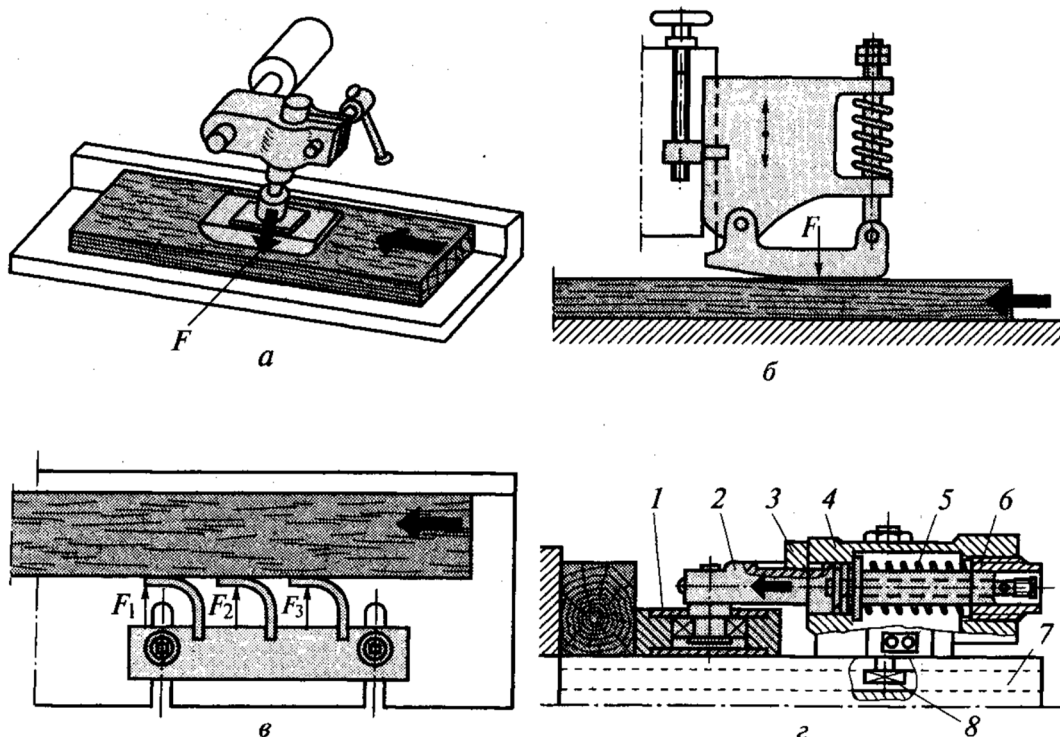


Рис. 1. Притискні механізми:

а – притискна колодка; *б* – притискний башмак;

в – притискач із гнучкими пластинами; *г* – роликовий притискач; 1 – ролик; 2 – щиток; 3 – кронштейн; 4 – гільза; 5 – пружина; 6 – гайка; 7 – стіл; 8 – гвинт

Відповідно до вищенаведеного, проектування технологічного оснащення поділяється на функціональне, при якому формується принцип його функціонування, та технічне проектування, при якому на основі обраного принципу функціонування створюється або вибирається конструкція пристрою або його окремих складових елементів.

Відповідно **функціональна структура** технологічного оснащення [9]:

$$S_{\Phi}(\{F\}, \{Q\}),$$

де $\{F\}$ – множина функцій;

$\{Q\}$ – множина відношень між функціями.

Технічна структура технологічного оснащення [9]:

$$S_T(\{E\}, \{R\}),$$

де $\{E\}$ – множина конструктивних елементів;

$\{R\}$ – множина відношень між елементами.

Функціональне призначення технологічного оснащення – максимально уточнена і чітко сформульована задача, для розв'язання якої призначений пристрій.

Розробка й формулювання функціонального призначення пристрою ґрунтується на аналізі вихідної інформації про операцію технологічного процесу, для якої призначений пристрій, та умов, в яких експлуатуватиметься пристрій.

Формулювання функціонального призначення технологічного оснащення є дуже відповідальним етапом процесу його вибору, проектування або удосконалення. Помилки, допущені при виявленні та уточненні функціонального призначення, призводять до неправильного вибору, створення неякісного технологічного оснащення, зайвих витрат праці при виготовленні та експлуатації. Тому розробці функціонального призначення пристрою повинні передувати глибоке вивчення задач, для розв'язання яких призначений пристрій, і точне формулювання його функцій.

При формулюванні функціонального призначення технологічного оснащення для деревообробки не можна обмежуватись загальними виразами. Необхідно якомога глибше уточнити призначення пристрою і виразити ці уточнення кількісно. Глибина формулювання функціонального призначення міститься саме в уточненнях.

Формулювання функціонального призначення повинне містити приблизно такий зміст:

- загальне призначення технологічного оснащення;
- основні й допоміжні функції оснащення;
- вид і кількість дерев'яних виробів (заготовок), які із застосуванням цього пристрою одночасно виготовляються (обробляються, склеюються, складаються), їхні габарити;
- схема встановлення і закріплення виробів (заготовок);
- параметри точності дерев'яного виробу, які повинні бути забезпечені при його виготовленні із застосуванням цього пристрою;
- перелік умов, в яких пристрій має працювати (режим роботи і стан навколишнього середовища);
- вимоги до зовнішнього виду, безпеки роботи, ергономічності, рівня шуму, коефіцієнту корисної дії тощо.

У загальному призначенні технологічного оснащення наводиться конкретна інформація про галузь застосування пристрою.

Основна функція (ОФ) технологічного оснащення – ознака (ознаки), яка визначає його сутність, призначення, для реалізації якої існує пристрій і без якої він, як виріб, втрачає свою споживчу вартість, корисність.

Так, наприклад, основною функцією кондуктора з регульованою міжосьовою відстанню (рис. 2) є: забезпечення необхідної точності розмічання або свердління отворів у заготовці.

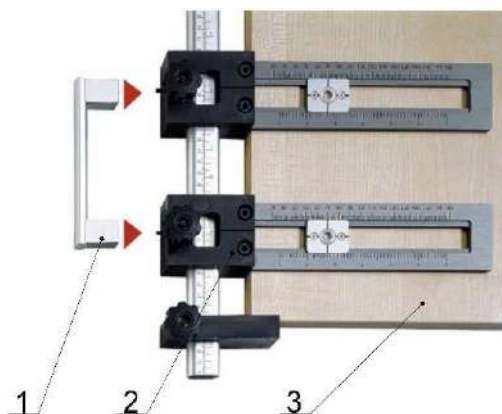


Рис. 2. Кондуктор із регульованою міжосьовою відстанню:

1 – ручка; 2 – кондуктор; 3 – заготовка

Допоміжна функція (ДФ) технологічного оснащення – ознака (ознаки), яка доповнює, розвиває та уточнює його основну функцію. ДФ може принципово не впливати на його ОФ, але забезпечує певні умови його функціонування.

Наприклад, допоміжними функціями згаданого кондуктора є:

- ДФ₁ – забезпечити необхідну швидкість розмічання або свердління отворів (продуктивність);
- ДФ₂ – забезпечити заданий діапазон регулювання міжосьової відстані;
- ДФ₃ – забезпечити задані показники надійності й довговічності;
- ДФ₄ – безпечність експлуатації кондуктора;
- ДФ₅ – забезпечити вимоги ергономічності;
- ДФ₆ – забезпечити задану обмежену величину витрат на виготовлення або придбання кондуктора.

Формулювання основних і допоміжних функцій технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва є дуже важливим етапом при його виборі та проектуванні. На основі основних і допоміжних функцій формують критерії вибору засобів технологічного оснащення серед наявних. У технічному завданні на проектування нових конструкцій технологічного оснащення основні й допоміжні функції є основою для формулювання задач, які необхідно конструктору вирішити при проектуванні оснащення. У матеріалах, які подаються за підсумками виконання проекту, повинно обов'язково відобразитись, як конструктивно чи іншими способами забезпечено виконання основних та допоміжних функцій технологічного оснащення.

Основні й допоміжні функції в подальшому доповнюються уточненнями.

Потрібна продуктивність виготовлення продукції доповнюється інформацією про *вид і кількість дерев'яних виробів (заготовок), які із застосуванням цього пристрою одночасно виготовляються (обробляються)*. Ця інформація також важлива з огляду на вибір типу пристрою за ступенем спеціалізації (універсальний, спеціалізований або спеціальний).

Схему встановлення та параметри точності дерев'яного виробу, які повинні бути забезпечені при його виготовленні із застосуванням цього пристрою, доцільно відобразити у вигляді операційного ескіза. На ескізі зображується схема базування заготовки в пристрої або пристрою на заготовці з усіма параметрами, які витримують при обробці. При механічній обробці деревинних матеріалів на ескізі оброблювані поверхні позначаються потовщеною лінією. Цей рисунок, власне, і є *відомостями про дерев'яний виріб, що виготовляється*. За необхідністю рисунок, на якому наведений операційний ескіз, може бути доповнений поясненнями, керівними матеріалами щодо особливостей здійснення обробки цієї заготовки та рекомендаціями щодо типу пристрою.

Перелік умов, в яких пристрій має працювати, повинен відображати режим роботи пристрою і стан навколишнього середовища, в якому експлуатуватиметься пристрій. Це дуже важлива інформація з огляду на вибір конструкційних матеріалів для виготовлення деталей пристрою.

Уточнення вимог до зовнішнього виду, безпеки роботи, ергономічності, рівня шуму, коефіцієнта корисної дії тощо є додатковою інформацією, яка необхідна для вибору конструктивного виконання пристрою та його окремих конструктивних елементів.

Приклад формулювання функціонального призначення пристрою:

Пристрій призначений для базування та закріплення попередньо обробленої заготовки при її обробці на фрезерному верстаті моделі ФСШ-1А.

Основні функції (ОФ):

ОФ₁ – забезпечити точність базування заготовки відносно різального інструменту в процесі обробки на верстаті.

ОФ₂ – забезпечити надійне затискання заготовки.

Допоміжні функції (ДФ):

ДФ₁ – забезпечення норми часу на встановлення і зняття обробленої заготовки
 $t_{\text{вст}} = 0,55$ хв;

ДФ₂ – забезпечити 75 % стандартизацію конструкції пристрою;

ДФ₃ – забезпечити задану довговічність;

ДФ₄ – забезпечити величину витрат на проектування та виготовлення пристрою в межах 1500 грн;

ДФ₅ – забезпечити вимоги ергономічності та безпеки експлуатації.

Заготовкою є попередньо оброблений брус із матеріалу береза, І сорту за ГОСТ 2695-83, кількість одночасно оброблюваних заготовок – одна. Базові поверхні заготовки – оброблені з шорсткістю $R_{\text{max}} 40$ мкм, габаритні розміри заготовки (мм) $110 \times 36 \times 40$.

При обробці заготовки, закріпленої в пристрої, що проектується, необхідно забезпечити (рис. 3):

- точність розмірів $(25 \pm 0,5)$ мм, $(18 \pm 0,5)$ мм, $(15 \pm 0,5)$ мм, $60^{+1,2}$ мм, $14^{+0,7}$ мм;
- шорсткість оброблюваних поверхонь $R_{\text{max}} 40$ мкм.

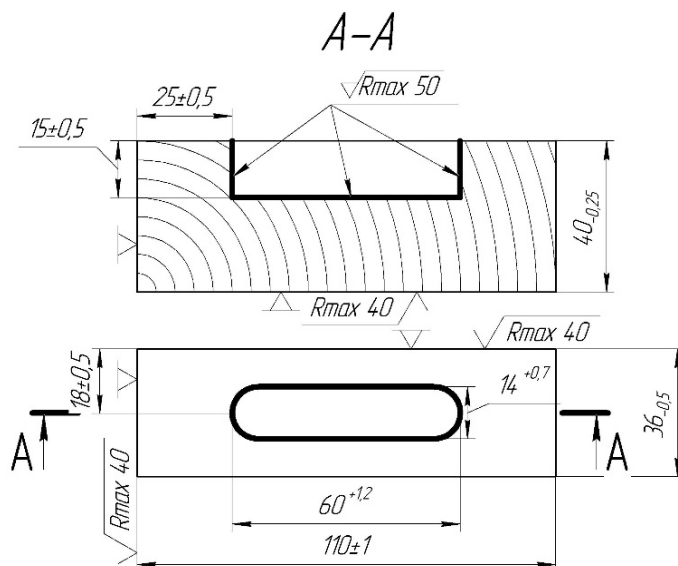


Рис. 3. Операційний ескіз

Пристрій експлуатується в деревообробному цеху зі штучною вентиляцією при температурі повітря (20 ± 10) °С та відносній вологості (70 ± 5) %. Термін експлуатації пристрою 2 роки.

На зовнішніх поверхнях деталей пристрою не допускається наявність гострих країв та кутів для забезпечення безпеки при складанні й експлуатації. На поверхнях деталей пристрою не повинно бути слідів корозії, тріщин та інших механічних пошкоджень, які погіршують міцність, експлуатаційні властивості та зовнішній вигляд.

Висновки відповідно до статті. Правильно й чітко сформульоване функціональне призначення технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва є запорукою виконання ним усіх покладених на нього функцій з необхідними показниками якості.

У роботі вперше запропоновано загальний підхід до функціонального аналізу технологічного оснащення для ручної та механічної деревообробки, деформування, складання (склеювання) елементів дерев'яних конструкцій, виробів чи меблів. Зокрема, визначено функції технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва та продемонстровано їх прикладне застосування. Представлені в роботі матеріали в подальшому можуть бути застосовані при розробці сучасних методик обґрунтованого вибору та проектування засобів технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва.

Список використаних джерел

1. Пальчевський Б. О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування : монографія. Луцьк : Луцький НТУ, 2012. 572 с.
2. Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація) : навч. посіб. Львів : Світ, 2001. 232 с.
3. Кузнецов Ю. М., Луців І. В., Дубняк С. А. Теорія технічних систем. Київ : Тернопіль, 1997. 310 с.
4. Балашов А. В., Черепанов А. А. Функционально-стоимостное проектирование технологических операций. *Ползуновский вестник*. 2012. № 1(1). С. 19-22.
5. Блюменштейн В. Ю., Клепцов А. А. Проектирование технологической оснастки : учебное пособие. Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2011. 224 с.
6. Сапон С., Ігнатенко П., Журко В. Особливості проектування технологічного оснащення для деревообробки. *Технічні науки та технології*. 2018. № 2(12). С. 76–85.
7. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навч. посібник для студ. вищих техн. навчальних закладів. Львів : Магнолія, 2007. 567 с.
8. Коротков В. И. Деревообрабатывающие станки. Москва : Издательский центр «Академия», 2007. 304 с.
9. Сапон С. П., Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : методичні рекомендації до виконання курсового проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 131 Прикладна механіка за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування» всіх форм навчання. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2020. 60 с.

References

1. Palchevsky, B. O. (2012). *Informatsiini tekhnolohiyi proektuvannia tekhnolohichnoho ustatkuvannya* [Information technologies of technological equipment design]. Lutsk NTU.
2. Palchevsky, B. O. (2001). *Doslidzhennya tekhnolohichnykh system (modeliuvannia, proektuvannia, optymizatsiia)* [Research of technological systems (modeling, design, optimization)]. Svit.
3. Kuznyetsov, Yu. M., Lutsiv, I. V., Dubnyak, S. A. (1997). *Teoriia tekhnichnykh system* [Theory of technical systems]. Ternopil.
4. Balashov, A. V., Cherepanov, A. A. (2012) Funktsional'no-stoimostnoye proyektirovaniye tekhnologicheskikh operatsiy [Functional and cost design of technological operations]. *Polzunovskii vestnik – Polzunovsky Bulletin*, 1(1), pp. 19–22.
5. Blumenshtein, V. Iu. (2011) Proektirovane tekhnologicheskoi osnastki. [Designing of technological accessories]. Izdatelstvo «Lan».
6. Sapon, S., Ignatenko, P., Zhurko, V. (2018). Osoblyvosti proektuvannya tekhnolohichnoho osnashchennya dlya derevoobrobky [Features of designing technological accessories for woodworking.] *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2(12), pp. 76–85.
7. Bondarenko, S. G. (2007). *Osnovy tekhnolohii mashynobuduvannya* [Fundamentals of mechanical engineering technology]. Magnolia.

8. Korotkov, V. I. (2007). *Derevoobrabatyvaiushchiye stanki [Woodworking machines]*. Akademiia.

9. Sapon, S. P., Bondarenko S. H. (2020). *Osnovy tekhnolohiyi mashynobuduvannya: metodychni rekomendatsii do vykonannya kursovoho proektu dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity pershoho (bakalavrskoho) rivnia zi spetsialnosti 131 Prykladna mekhanika za osvitno-profesiinoiu prohramoiu «Tekhnolohii mashynobuduvannya» vsikh form navchannya [Fundamentals of mechanical engineering technology: methodical recommendations for the course project for applicants for higher education of the first (bachelor's) level in the specialty 131 Applied Mechanics according to the educational-professional program "Mechanical Engineering Technologies" of all forms of education]*. NU «Chernihivska politekhnika».

UDC 674.022:621.715

Serhii Sapon, Oleksandr Kosmach

FUNCTIONAL ASSIGNMENT OF TECHNOLOGICAL ACCESSORIES FOR WOODWORKING

Urgency of the research. The use of modern technological accessories allows increasing the productivity of woodworking processes, the accuracy and quality of wood products and furniture. Also, technological accessories allows to expand the technological capabilities of woodworking accessories, tools, to ensure safe working conditions during mechanical processing of wood.

Target setting. When designing technological processes for woodworking and furniture production, the task of choosing or designing technological accessories always exists. For a reasonable choice or design of technological accessories in the woodworking industry, an analysis of the functional purpose is important.

Actual scientific researches and issues analysis is devoted to works on the functional analysis of technical systems and the choice of technological accessories.

Uninvestigated parts of general matters defining. At the moment, little attention has been paid to the issues of selection and design of technological accessories for woodworking and furniture production in the scientific literature. Analysis and systematization of the functions of technological accessories for woodworking will allow for a more informed choice and design.

The purpose of the article is to determine the functions of technological accessories for woodworking and furniture production for a more informed choice and design.

The statement of basic materials. based on the principles and approaches of the functional analysis of technical systems, the method of formulating the functional assignment of technological equipment for woodworking and furniture production is presented in the work. the main and auxiliary functions are formulated as an example of a conductor with an adjustable center distance. an example of the formulation of the functional assignment of a device for mechanical processing of a wooden blank is given.

Conclusions. In this work, for the first time, a general approach to the functional analysis of technological accessories for woodworking is proposed. The functions of the technological accessories are determined and their applied application is demonstrated. The presented materials can be used for an informed choice or design of technological equipment for woodworking and furniture production.

Keywords: technological accessories; functional assignment; woodworking; furniture manufacturing.

Fig.: 3. References: 9.

Сапон Сергій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sapon Serhii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: s.sapon@gmail.com

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

ResearcherID: G-7764-2014

SCOPUS Author ID: 56736964700

Космач Олександр Павлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kosmach Oleksandr – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: alexkos86@gmail.com

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

ResearcherID: G-5850-2014

SCOPUS Author ID: 37028364100

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.054

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-65-71

Сергій Медушевський

АВТОМАТИЗОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Актуальність теми дослідження. З розвитком інформаційних технологій та нових практик менеджменту відбулося зближення і часто злиття методів управління якістю та інформаційних технологій. Нині дедалі більшого значення набувають концепції, засновані на інтеграції систем управління якістю та автоматизованої інформаційної системи (АІС).

Постановка проблеми. На сьогодні відсутній єдиний підхід до організації інформаційної підтримки процесів організації засобами інформаційних систем. Проблемою є відсутність на більшості підприємств комплексного підходу до управління якістю з використанням валідованих АІС. Це знижує ефективність застосування АІС і систем управління якістю (СУЯ) загалом. Подальшого розвитку потребують питання ідентифікації процесів та інформаційних потоків, забезпечення достовірності та адекватності їх подання до АІС, оцінки ефективності інформаційного забезпечення СУЯ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі дослідження спеціалізованої науково-технічної літератури були проаналізовані сучасні тенденції та проблеми впровадження інформаційних технологій у СУЯ.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Невирішеною проблемою є забезпечення якості використання АІС на фармацевтичному підприємстві, інтегрованої в СУЯ підприємства на основі вимог міжнародного стандарту GMP та Настанови СТ-Н МОЗ 42-4.0:2016 «Лікарські засоби. Належна виробнича практика».

Постановка завдання. Мета полягає в системному аналізі методичних основ забезпечення якості, шляхом впровадження та використання АІС, спрямованої на створення сприятливих умов для підвищення ефективності системи управління якістю на підприємствах фармацевтичної галузі.

Виклад основного матеріалу. Розглянуто питання побудови та вдосконалення системи управління якістю на основі наявних технологій для автоматизованих виробництв. Визначено структуру комп'ютерної СУЯ і механізми її інформаційного забезпечення. Також проведено аналіз методів інтеграції спеціалізованих програмних систем і запропоновано концепцію їх інтеграції в систему управління якістю.

Висновки відповідно до статті. На основі критичного аналізу було відокремлено коло невирішених проблемних задач, пов'язаних із розробкою, впровадженням та використанням автоматизованих інформаційних систем на базі міжнародних стандартів, а також висунута наукова гіпотеза результативного впровадження та використання автоматизованих інформаційних систем, інтегрованих у систему управління якістю фармацевтичного підприємства.

Ключові слова: автоматизація; валідація; верифікація; інформаційна система; проектування; якість.

Рис.: 3. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Для підтвердження необхідного рівня якості більшість компаній впроваджують систему управління якістю (СУЯ), основою якої, як відомо, є: процесний підхід, опис бізнес-процесів, системний аналіз.

Усі ці завдання в сучасних умовах повинні реалізовуватися на основі інформаційних технологій. Рішення подібних завдань вимагає застосування відповідних інформаційно-аналітичних систем, що інтегрують засоби управління якістю, механізми управління проектами й багатоаспектний аналіз даних. Треба зазначити, що в сучасних умовах ринкового середовища одним із перспективних шляхів створення результативної автоматизованої інформаційної системи (АІС), інтегрованої в СУЯ, є цілеспрямований вибір структурних елементів конфігурації системи. Так, останніми роками розвиваються напрями, пов'язані з інформаційними системами управління якістю (ІСУЯ), інтегрованими системами менеджменту, комп'ютерною підтримкою оцінки ефективності СУЯ та ін.

Постановка проблеми. Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених різним аспектам забезпечення якості процесів життєвого циклу (ЖЦ) АІС, розробку міжнародних і вітчизняних стандартів і специфікацій у галузі АІС, нині немає єдиного підходу до організації інформаційної підтримки процесів організації засобами інформаційних систем. Серйозну проблему становить відсутність на більшості підприємств комплексного підходу до управління якістю з використанням саме валідованих АІС, що знижує ефективність застосування АІС і СУЯ загалом. Крім цього, потребують подальшого розвитку питання ідентифікації процесів та інформаційних потоків, забезпечення достовірності та адекватності їх подання до АІС, оцінки ефективності інформаційного забезпечення СУЯ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управління якістю є функцією управління організацією для забезпечення необхідного рівня якості продукції, який досягається за рахунок впровадження сучасних результативних систем управління якістю фармацевтичного підприємства [1; 2], а також комплексу прогресивних методів і засобів цілеспрямованого контролю, спрямованих не тільки на раціональну побудову й функціонування організації відповідно до вимог чинної нормативно-правової бази, а і сприяє оптимізації адміністративного управління всіма виробничими (бізнес-) процесами фармацевтичного виробництва. Основні методичні підходи до оцінки результативності функціонування інтегрованої системи управління на фармацевтичному підприємстві визначено автором у роботі [3].

Загальні підходи до розробки та впровадження АІС для оптимізації виробничих процесів висвітлювались у наукових працях вітчизняних та закордонних фахівців: [4; 5, 6]. Авторами в роботі [7] розглянуто питання щодо актуальності впровадження автоматизованих СУЯ в сучасній концепції якості, узагальнені вимоги до систем автоматизованого документообігу СУЯ фармацевтичного підприємства.

Поетапний аналіз інформаційної технології, призначений для процесу оцінки якості й безпеки автоматизованої системи управління технологічним процесом виробництва лікарських засобів розглянуто автором роботи [8].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Прискорене використання інформаційних технологій поряд з усвідомленням універсальності принципів системного управління процесами менеджерами й розробниками інформаційних систем знайшло відображення у зближенні методів менеджменту та інформаційних технологій.

Підвищення ролі інформації в сучасних умовах інформаційного суспільства інтенсифікація інформаційного обміну поряд зі збільшенням наукоємності та технологічної складності процесів фармацевтичних підприємств, розвитку сертифікації продукції, послуг і процесів зумовлюють високі вимоги до якості АІС. З вищезазначеного випливає, що перспективним напрямом забезпечення якості процесів на підприємстві є розробка АІС, орієнтованих на процес, що функціонує у межах СУЯ, а також розробка АІС за рахунок стандартів серії ISO 9000:2015. У цьому випадку підвищується ефективність застосування АІС і СУЯ через більш точне відображення предметної області, раціональне використання фахівців у сфері СУЯ та інформаційних технологій і економії всіх видів ресурсів.

Поряд з універсальними стандартами ISO 9000 використовуються галузеві стандарти, які враховують специфічні вимоги окремих галузей, таких як GMP. GMP (Good Manufacturing Practice) – це комплекс стандартів для фармацевтичної промисловості. Цей стандарт призначено для зниження ризику, що існує у використанні будь-якої фармацевтичної продукції та не може бути повністю усунений шляхом проведення іспитів готової продукції. Принципи та правила GMP є обов'язковими для всіх країн – членів ЄС.

Постановка завдання. Мета полягає в системному аналізі методичних основ забезпечення якості, шляхом впровадження та використання АІС, спрямованої на створення сприятливих умов для підвищення ефективності системи управління якістю на підприємствах фармацевтичної галузі.

Виклад основного матеріалу. Система управління якістю (СУЯ) – це одна з підсистем системи управління будь-якого сучасного підприємства. Управління якістю у широкому сенсі розуміється як управління процесами, спрямоване на забезпечення якості їхніх результатів. Такий підхід відповідає ідеям загального управління якістю (Total Quality Management), сутність яких полягає в управлінні підприємством через управління якістю.

Для розробки й реалізації обґрунтованих конструкторсько-технологічних рішень із забезпечення якості продукції на всіх етапах її ЖЦ необхідно мати щоденну актуальну інформацію за всіма технологічними параметрами. Повинна бути забезпечена можливість оперативного аналізу всієї зібраної інформації. Таке завдання може бути вирішене

тільки за наявності на підприємстві інтегрованої автоматизованої системи збору та аналізу інформації про якість процесів і продукції на всіх етапах її ЖЦ. Оскільки СУЯ тісно пов'язана з усією управлінською інфраструктурою підприємства, для інформаційного забезпечення треба використовувати АІС.

Ключовим елементом забезпечення якості у фармацевтичній промисловості згідно зі стандартом GMP є валідація.

АІС є критичним компонентом виробничої системи фармацевтичного виробництва й тому має відповідати системі забезпечення якості та бути валідованою. Метою валідації АІС є створення документального підтвердження високого рівня впевненості в тому, що будь-який алгоритм, механізм, процедура і функція АІС будуть постійно приводити до очікуваних результатів, а також підтвердження того, що ця система розроблена з урахуванням вимог EU Додаток 11.

Валідаційні випробування дозволяють перевірити функціонування випробовуваної системи в передбачуваних екстремальних умовах її експлуатації з тим, щоб переконатися у збереженні керованості цієї системи. Передбачається, що в разі успішної валідації системи або процесу останні залишаються під контролем, якщо ні в систему, ні в процес не вносять будь-яких змін.

СУЯ повинна базуватися на інформаційній системі, що підтримує автоматизовану обробку даних, документування процесів забезпечення якості на всіх стадіях ЖЦ виробу й автоматизованого управління цими процесами, даними та документацією. У цьому сенсі СУЯ стає невід'ємною частиною інтегрованої автоматизованої інформаційної системи (ІАСУ).

Застосування інформаційних технологій, що забезпечують поліпшення інформаційного забезпечення СУЯ, веде до прискорення і підвищення якості процесів планування, реалізації, контролю та реалізації коригувальних дій, а також до зниження витрат і кількості використовуваних ресурсів [9].

У межах цієї моделі вдосконалення процесів СУЯ здійснюється через її інтегровану інформаційну підтримку. Усі необхідні інформаційні потоки надходять до компонентів СУЯ в потрібний час і в повному обсязі.

Інформаційно-управлінська структура автоматизованого фармацевтичного виробництва, представлена на рис. 1, дозволяє забезпечити його керовані умови відповідно до вимог як стандарту ISO 9001:2015, так і GMP.

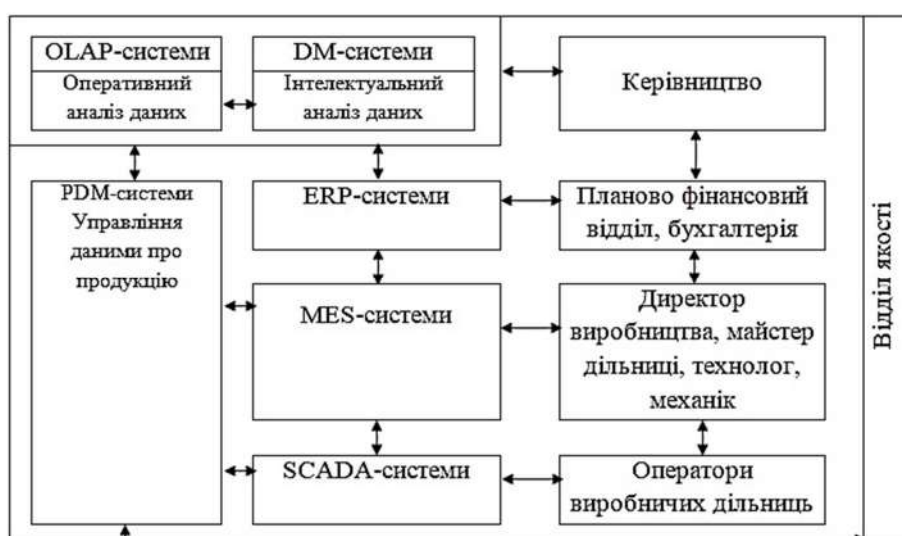


Рис. 1. Інформаційно-управлінська структура автоматизованого фармацевтичного виробництва як елемент СУЯ

Згідно з типовою моделлю АІС, інформація з виробничої зони надходить до MES-систем, проходить стадію обробки, а потім уже оброблена інформація надходить у ERP-системи, і далі – на рівень вищого менеджменту підприємства (OLAP, DM).

Системи управління ERP, MES, SCADA представлені як системи обліку та оперативного опрацювання даних про якість сучасного автоматизованого виробництва (рис. 2).

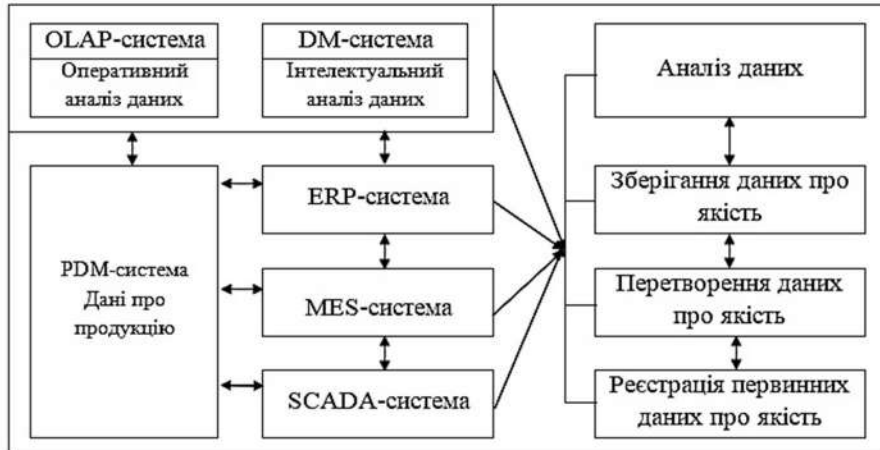


Рис. 2. Системи обліку та оперативного опрацювання даних про якість сучасного автоматизованого виробництва

СУЯ стає автоматизованою інформаційно-керуючою системою. Нова технологія її створення зводиться до налаштування процесів і параметрів АІС.

Типова інформаційна система містить у собі такі компоненти:

- платформа, на якій функціонують інші компоненти системи;
- дані, з якими працює система (бази даних);
- додатки, що реалізують логіку щодо роботи з програмними системами;
- бізнес-процеси є сценаріями роботи користувачів із системою.

Протягом ЖЦ продукції різними програмними системами підтримки ЖЦ обробляється та ж сама інформація, але кожна система оперує як сформованими і занесеними в електронну базу даними, так і сформованою нею унікальною інформацією.

Особливістю комплексної інтеграції компонентів АІС є організація взаємодії рішень підтримки, супроводу та планування ЖЦ із застосуванням єдиної інтегрованої бази даних для використовуваних інформаційних систем із застосуванням міжмодульної інтеграції програмних інтерфейсів.

В інтегрованій комплексній АІС необхідно виділяти транзакційні системи обліку та оперативного опрацювання даних, керування процесами та проектами (ERP, CRM, MES, SCADA, PDM та ін.). Ці системи збирають і обробляють дані про якість, які згодом використовуються аналітичними системами (OLAP, DM і ін.) (рис. 3).



Рис. 3. Структура взаємодії компонентів інформаційно-керуючої СУЯ

Для більшості фармацевтичних компаній актуальні проблеми забезпечення випуску продукції стабільної якості та зниження відсотка браку й забезпечення відповідності виробництва міжнародним нормам належної виробничої практики GMP. Інформаційна система являє собою переважно сукупність кількох компонентів, тому під інтеграцією інформаційних систем правильніше розуміти інтеграцію складових їх компонентів [10].

На сьогодні розроблено безліч рішень у галузі автоматизації, багато з яких є інтегрованими системами управління. Розглянемо основні з них докладніше.

На рівні вищого менеджменту підприємства повинні працювати OLAP-системи (On-Line Analytic Processing – оперативний багатовимірний аналіз даних) і DM-системи (Data Mining – інтелектуальний аналіз даних). OLAP використовується аналітиками для швидкої обробки складних запитів до бази даних.

Технології інтелектуального аналізу даних можуть бути використані у процесі дослідження проблем якості продукції, процесів і підготовки оптимальних рішень.

Основне призначення цієї технології – автоматизований пошук функціональних і логічних закономірностей у багатовимірному сховищі, використання виявлених закономірностей для прогнозування (інтерполяції та екстраполяції) необхідних даних. Методи DM поділяються на статистичні (дескриптивний аналіз, кореляційний і регресійний аналіз, факторний аналіз, дисперсійний аналіз, компонентний аналіз, дискримінантний аналіз, аналіз часових рядів) і кібернетичні (штучні нейронні мережі, еволюційне програмування, генетичні алгоритми, асоціативна пам'ять, нечітка логіка, дерева рішень, системи обробки експертних знань).

Стандартизація і опис бізнес-процесів, а також жорсткий контроль над їх виконанням забезпечується за допомогою workflow-технології. Workflow-системи використовуються для автоматизації відносно невеликої номенклатури процесів, найбільш критичних для виробництва. Системи управління бізнес-процесами (BPM – Business Process Management) є розширенням систем класу Workflow. Застосування в організації BPM-системи, що виконує завдання стандартизації бізнес-процесів, збір метрик, формування свідчень контролю, дозволить впровадити високоефективний інструмент управління якістю. У BPM-системах закладена комплексна автоматизація процесного управління. BPM-системи здебільшого являють собою базовий набір звітів за показниками бізнес-процесів.

У підсумку можна зауважити, що автоматизація бізнес-процесів на підприємствах сприяє підвищенню ефективності виробництва, зростання конкурентоспроможності продукції в умовах ринку. Так само необхідно зазначити, що важливо забезпечити прийнятний рівень надійності та відмовостійкості промислової АІС. Це пов'язано з високим ступенем навантаження за допомогою призначених для користувача транзакцій. Так, наприклад, у разі відмови обладнання необхідно перерозподілити навантаження виробничих потужностей, внести зміни в поточний оперативно-детальний план, провести синхронізацію з планами вищих рівнів ієрархії. Одночасний запуск декількох транзакцій може призвести до відмови системи. Тому відповідно до проведеного аналізу систем можна стверджувати, що в ролі виробничої АІС найбільш ефективним рішенням є система з монолітним ядром, яке мінімізує ризики виникнення колізій у процесі роботи.

Висновки відповідно до статті. Проведено системний аналіз застосування єдиної АІС для ефективного обміну інформацією між усіма компонентами СУЯ, задіяними в процесах забезпечення якості фармацевтичного підприємства. Встановлено, що технології об'єднання множини компонентів, які сполучаються в єдину АІС, не тільки реалізує ефективний обмін інформацією між усіма компонентами СУЯ, задіяними в процесах забезпечення якості, а й надає ефективний спосіб адекватної демонстрації здатності підприємства управляти якістю продукції. Залежно від конкретних особливостей, пов'язаних із галуззю, бізнес-процесами та рівнем їх автоматизації на підприємстві, можна запропонувати найбільш підходящий клас АІС для вирішення виробничих завдань.

Список використаних джерел

1. Лебединець В. О. Методика оцінювання результативності процесів систем управління якістю виробничих фармацевтичних підприємств. *Управління, економіка та забезпечення якості в фармації*. 2017. № 2. С. 11–18.
2. Система менеджмента качества фармацевтической организации: критерии и реализация / А. А. Клименкова и др. *Фармация и фармакология*. 2019. № 3. С. 170–179.
3. Світлична К. С., Шуть О. Ю., Коваленко П. В. Методичні підходи до оцінки результативності функціонування інтегрованої системи менеджменту фармацевтичного підприємства. *Бізнес Інформ*. 2019. № 12. С. 396–402.
4. Володін А. Д., Посилкіна О. В. Впровадження логістичних інформаційних систем на фармацевтичних підприємствах. *Актуальні проблеми розвитку галузевої економіки та логістики* : матеріали VI наук.-практ. конф. з міжнар. участю, м. Харків, 25-26 жовтня 2018 р. Харків, 2018. С. 211–214.
5. Варакин С. В., Жоров С. В., Лагун О. В. Создание единой объектно-ориентированной информационной модели данных для обеспечения интеграции подсистем ИАСУ ТП газотранспортного предприятия. *Вестник НГИЭИ*. 2017. № 6. С. 38–45.
6. Тиханьчев О. В. О показателях качества программного обеспечения автоматизированных систем управления. *Программные системы и вычислительные методы*. 2020. № 2. С. 22–36.
7. Губін Ю. І., Ромелашвілі О. С., Зборовська Т. В. Розробка проекту автоматизованих елементів системи управління якістю. *Менеджмент та маркетинг у складі сучасної економіки, науки, освіти, практики* : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. дистанц. конф., м. Харків, 19 березня 2020 р. Харків : НФаУ, 2020. С. 307–318.
8. Федосеева А. А. Оценка качества программного обеспечения автоматизированных систем управления фармацевтических предприятий. *Актуальні проблеми розвитку галузевої економіки та логістики* : матеріали V наук.-практ. конф. з міжнар. участю, м. Харків, 20-21 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 153–157.
9. Буренин А. Н., Легков К. Е. Основы обеспечения эффективного функционирования информационных подсистем управления сложными организационно-техническими объектами в условиях воздействий. *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*. 2017. № 4. С. 79–86.
10. Сафронов В. В., Подвальный С. Л., Барабанов В. Ф., Нужный А. М. Интеграционные решения при построении корпоративных информационных систем. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Автоматика. Вычислительная техника*. 2016. № 4. С. 646–654.

Reference

1. Lebedinets, V. O. (2017). Metodyka otsiniuvannia rezultatyvnosti protsesiv system upravlinnia yakistiu vyrobnychkh farmatsevychnykh pidpriumstv [Methods for evaluating the effectiveness of the processes of quality management systems of manufacturing pharmaceutical companies]. *Upravlinnia, ekonomika ta zabezpechennia yakosti v farmatsii – Management, economics and quality assurance in pharmacy*, 2, pp. 11–18.
2. Klimenkova, A. A., Geller, L. N., Skripko, A. A., Gravchenko, L. A., Fedorchuk, N. V. (2019). Systema menedzhmenta kachestva farmatsevycheskoi orhanyzatsyy: krytery y realizatsiya [Quality management system of pharmaceutical organization: criteria and implementation]. *Farmatsiia i farmakologiya – Pharmacy and pharmacology*, 3, pp. 170–179.
3. Svitlichna, K. S., Shut, O. Yu., Kovalenko, P. V. (2019). Metodychni pidkhody do otsinky rezultatyvnosti funktsionuvannia intehrovanoi systemy menedzhmentu farmatsevychnoho pidpriumstva [Methodical approaches to assessing the effectiveness of the functioning of the integrated management system of a pharmaceutical company]. *Business Inform – Biznes Inform*, 12, pp. 396–402.
4. Volodin, A. D., Posylkina, O. V. (2018). Vprovadzhennia lohistychnykh informatsiinykh system na farmatsevychnykh pidpriumstvakh [Implementation of logistics information systems at pharmaceutical enterprises]. *Aktualni problemy rozvytku haluzevoi ekonomiky ta lohistyky : materialy VI nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastiu – Actual problems of development of branch economy and logistics: materials of VI scientific-practical. conf. with international participation* (pp. 211–214).
5. Varakyn, S. V., Zhorov, S. V., Lahun, O. V. (2017). Sozdanye edynoi obiektno-oryentyrovannoi ynformatsyonnoi modely dannykh dlia obespecheniya yntehratsyy podsystem YASU TP hazotransportnoho predpriumstva [Creating a unified object-oriented information data model for ensuring the integration of automated process control subsystems in a gas transport companies]. *Vestnyk NGIEI – NGIEI Bulletin*, 6, pp. 38–45.

6. Tikhanychev, O. V. (2020). О показателях качества программного обеспечения автоматизированных систем управления [About indicators of quality of software of the automated control systems]. *Программные системы и вычислительные методы – Software systems and computational methods*, 2, pp. 22–36.

7. Gubin, Yu. I., Romelashvili, O. S., Zborovska, T. V. (2020). Rozrobka proektu avtomatyzovanykh elementiv systemy upravlinnia yakistiu [Development of the project of automated elements of the quality management system]. *VIII mizhnar. nauk.-prakt. dystants. konf. – VII International. scientific-practical distance conf.* (pp. 307–318). Kharkiv NUPh.

8. Fedoseeva, A. A. (2017). Otsenka kachestva programmnoho obespecheniya avtomatyzovanykh sistem upravleniya farmatsevticheskykh predpriyatiy [Estimation of quality of software of the automated control systems of pharmaceutical enterprises]. *Aktualni problemy rozvytku haluzevoi ekonomiky ta lohistyky: materialy V nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastiu – Actual problems of development of branch economy and logistics: materials of V scientific-practical. conf. with international participation* (pp. 153–157).

9. Burenin, A. N., Leikov, K. E. (2017). Osnovy obespecheniya efektyvnoho funktsionirovaniya ynfornatsyonnykh podsystem upravleniya slozhnyimi orhanyzatsyonno-tekhnicheskymy ob'ektamy v usloviakh vozdeistviy [Framework for ensuring effective functioning of information subsystems of the automated control systems for complex organizational and technical objects in the conditions of essential impacts]. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli – Science-intensive technologies in space exploration of the Earth*, 4, pp. 79–86.

10. Safronov, V. V., Podvalnyi, S. L., Barabanov, V. F., Nuzhnyi, A. M. (2016). Intehratsionnye resheniya pri postroenii korporativnykh informatsionnykh sistem [Integration solutions in construction of corporate information system]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Avtomatika. Vychislitelnaia tekhnika – Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Automation. Computer Engineering*, 4, pp. 646–654.

UDC 004.054

Sergii Medushevskiy

AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS AS ELEMENTS OF THE PHARMACEUTICAL ENTERPRISE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Urgency of the research. *With the development of information technology and new management practices, there has been a convergence and often a merger of quality management and information technology practices. At present, concepts based on the integration of quality management systems and automated information systems are becoming increasingly important.*

Actual scientific researches and issues analysis. *In the process of researching specialized scientific and technical literature, modern trends and problems of introduction of information technologies in the quality management system were analyzed.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *An unsolved problem is to ensure the quality of use of automated information systems at a pharmaceutical enterprise integrated into an enterprise quality management system based on the requirements of the international GMP standard and the Guidelines ST-N MOH 42-4.0: 2016 "Medicines. Good manufacturing practice".*

The research objective. *The purpose is to systematically analyze the methodological foundations of quality assurance, through the introduction and use of AIS, aimed at creating favorable conditions for improving the efficiency of the quality management system in the pharmaceutical industry.*

The statement of basic materials. *The issues of construction and improvement of quality management system based on existing technologies for automated production are considered. The structure of the computer quality management system and the mechanisms of its information support are determined. The methods of integration of specialized software systems are also analyzed and the concept of integration of them into the quality management system is proposed.*

Conclusions. *Based on the critical analysis, a number of unresolved problems related to the development, implementation and use of automated information systems based on international standards were separated, as well as the scientific hypothesis of the effective implementation and use of automated information systems integrated into the quality management system of the pharmaceutical enterprise was put forward.*

Keywords: automation; validation; verification; information system; design; quality.

Fig.: 3. References: 10.

Медусевський Сергій Вікторович – викладач кафедри якості, стандартизація та управління проектами, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького (б-р Шевченка, 81, м. Черкаси, 18031, Україна).

Medushevskiy Sergii – teacher of the Department of Quality, Standardization and Project Management, Cherkassy National University. B. Khmelnytsky (81 Shevchenko Blvd., 18031 Cherkassy, Ukraine).

E-mail: victorovich.med@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9371-0428>

ResearcherID: E-7703-2018

УДК 004.8:004.89:519.7

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-72-90

Ігор Повхан

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ МОДЕЛЕЙ ЛОГІЧНИХ ДЕРЕВ
КЛАСИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ СЕЛЕКЦІЇ НАБОРІВ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ОЗНАК**

Актуальність теми дослідження. Нині існує декілька незалежних, загальних підходів (концепцій) для вирішення різноманітних завдань класифікації в класичній постановці, розроблено набір різних концепцій, підходів, методів, моделей та схем, інструментарію, які охоплюють загальну проблему теорії штучного інтелекту та інформаційних систем. Причому всі ці підходи в теорії розпізнавання мають свої фіксовані переваги і недоліки та утворюють єдиний інструментарій розв'язку прикладних задач теорії штучного інтелекту. Важливою проблемою залишається питання ефективності програмних схем та алгоритмів синтезу конструкцій дерев класифікації в розрізі ефективності критерію розгалуження їхньої структури. Отже, центральну увагу в цьому дослідженні буде приділено актуальній концепції дерев рішень (дерев класифікації), розглядається загальна задача програмної (алгоритмічної) побудови логічних дерев розпізнавання (класифікації). Об'єктом цього дослідження є логічні дерева класифікації (структури ЛДК) їхні сучасні програмні реалізації. Предметом дослідження є актуальні методи та алгоритмічні схеми побудови логічних дерев класифікації.

Постановка проблеми. Основні наявні методи та алгоритми роботи з масивами дискретної інформації при побудові функцій розпізнавання (класифікаторів) не дозволяють досягнути наперед заданого рівня точності (ефективності) системи класифікації та регулювати їх складність у процесі побудови. Однак цей недолік відсутній у методах та схемах побудови систем розпізнавання, які базуються на концепції логічних дерев класифікації (дерев рішень). Структура логічного дерева являє собою зв'язану множинну гілок та вузлів, причому на гілках дерева розташовуються деякі мітки (атрибути, значення ознак), від яких залежить цільова функція (у випадку ЛДК – функція розпізнавання), а у вузлах (вершинах) знаходяться значення функції розпізнавання або розширені атрибути переходів. Тобто схема покриття навчальної вибірки набором елементарних ознак у випадку ЛДК породжує фіксовану деревоподібну структуру даних (модель ЛДК), яка забезпечує стиснення та перетворення початкових даних НВ, а отже, дає змогу суттєво оптимізувати та зекономити апаратні ресурси системи, до того ж в основі лежить єдина методологія – оптимальної апроксимації навчальної вибірки набором елементарних ознак (атрибутів), які входять у деяку схему (оператор), побудовану в процесі навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У представленому дослідженні були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені загальній тематиці підходів, методів, алгоритмів та схем розпізнавання (моделей дерев класифікації – структур ЛДК/АДК) дискретних об'єктів, відповідним програмним реалізаціям дерев рішень у задачах розпізнавання образів теорії штучного інтелекту.

Виділення не досліджених частин загальної проблеми. Можливість ефективної та економічної програмної (алгоритмічної) схеми побудови логічного дерева класифікації (моделі структури ЛДК) на основі початкових масивів навчальних вибірок (масивів дискретної інформації) великого об'єму.

Постановка завдання. Розробка простого та якісного програмного методу (алгоритму та програмної системи) побудови моделей (структур) ЛДК для великих масивів початкових вибірок шляхом синтезу мінімальних форм дерев класифікації та розпізнавання, які забезпечують ефективну апроксимацію навчальної інформації набором ранжованих елементарних ознак (атрибутів) на основі схеми розгалуженого вибору ознак у широкому спектрі прикладних задач.

Виклад основного матеріалу. Пропонується загальна програмна схема побудови структур логічних дерев класифікації, яка для заданої початкової навчальної вибірки будує деревоподібну структуру (модель класифікації), яка складається з набору елементарних ознак, оцінених на кожному кроці побудови моделі за даною вибіркою. Запропоновано метод та готова програмна система побудови логічних дерев, основна ідея якого полягає в апроксимації навчальної вибірки довільного об'єму набором елементарних ознак. Цей метод при формуванні поточної вершини логічного дерева (вузла) забезпечує виділення найбільш інформативних (якісних) елементарних ознак із початкового набору. Такий підхід при побудові результуючого дерева класифікації дозволяє значно скоротити розмір та складність дерева (загальну кількість гілок та ярусів структури) підвищити якість його наступного аналізу.

Висновки відповідно до статті. Розроблене та запропоноване в роботі програмне забезпечення побудови структур ЛДК (моделей дерев класифікації) дозволяє використовувати його для розв'язання широкого спектра практичних задач розпізнавання та класифікації, а перспективи подальших досліджень можуть полягати у створенні обмеженого методу логічного дерева класифікації (структур ЛДК), який полягає у введенні критерію зупинки процедури побудови логічного дерева за глибиною структури, оптимізації його програмних реалізацій, а також експериментальних дослідженнях цього методу на більш широке коло практичних задач.

Ключові слова: задачі розпізнавання; дерева класифікації; логічне дерево; схема розпізнавання; алгоритм; дискретний об'єкт; елементарна ознака; розгалужений вибір ознак.

Рис.: 4. Табл.: 4. Бібл.: 31.

Актуальність теми дослідження. Аналізуючи загальну проблему методів, алгоритмів та схем деревоподібних моделей класифікації та розпізнавання (структур логічних та алгоритмічних дерев – ЛДК/АДК) можна зафіксувати брак поточних досліджень у цьому напрямі – теорії дерев рішень, зважаючи на зміщення головної уваги в бік концепції нейромережевого розпізнавання [1]. Нині немає універсального підходу до їх розв'язання, запропоновано декілька досить загальних теорій та підходів, що дозволяють вирішувати

багато класів задач, але їх прикладні застосування відрізняються досить великою чутливістю до специфіки самої задачі або предметної області застосування. Зрозуміло, що значною мірою це пояснюється особливостями самих методів, алгоритмів та моделей (структур) дерев класифікації (ЛДК/АДК), значними труднощами реалізаційних моментів концепції алгоритмічного дерева класифікації (найвищого рівня абстракції концепції ЛДК), набором жорстких правил та обмежень щодо практичної роботи з такими структурами даних, проблемами інструментарію розробки та представлення [2-4]. Однак треба зауважити, що в більшості випадків прикладне застосування концепції дерев рішень, представлення навчальних вибірок (масивів дискретної інформації) великого об'єму у вигляді структур (конструкцій) логічних або алгоритмічних дерев (дерев узагальнених ознак) має свої суттєві переваги щодо простого та економічного опису даних, ефективних механізмів представлення та роботи з ними [5]. Важливим сегментом області практичних застосувань концепції логічних дерев залишаються методи дерев рішень (дерева класифікації, регресійні дерева), які активно використовуються як для задач теорії штучного інтелекту, засобом підтримки прийняття рішень, так і в суміжних практичних галузях економіки, управління тощо [6-12]. Нейромережева концепція розпізнавання – незважаючи на значні переваги, має, однак, істотні недоліки, які обмежують галузь її застосування. Нейронні мережі дають змогу знаходити відповідні субоптимальні розв'язки, що є проблемою в задачах із вимогою на високу точність моделі, що будується. Загальна схема функціонування зводиться до принципу чорної (сірої в окремих випадках) скрині, що недопустимо за умови аналізу причини прийняття того чи іншого рішення (в умовах правила класифікації). Значні апаратні та часові витрати інформаційної системи на процес навчання моделі не компенсуються швидкістю фінальної класифікації. Обмеження на формат вхідних даних, яке зводиться до числової шкали для методів нейромереж, накладає додаткове принципове обмеження щодо спектра можливих прикладних задач. Тому слід визнати, що клас реальних задач, які підпадають під ці обмеження, достатньо великий [11-31]. Так, концепція дерев класифікації (дерев рішень) позбавлена значної частини наведених вище недоліків та дозволяє ефективно працювати в задачах із даними довільних шкал (де інформація задається у природній формі). На сьогодні актуальними є різні підходи до побудови класифікаторів у вигляді дерев класифікації (ЛДК), причому інтерес до методів розпізнавання, які використовують ЛДК, викликаний певними корисними властивостями, якими вони володіють. З одного боку, складність класу класифікаторів у вигляді моделей ЛДК, за визначених умов, не перевищують складності класу лінійних функцій розпізнавання (простішого з відомих). Саме загальним питанням програмної (алгоритмічної) побудови дерев класифікації, структур ЛДК (у розрізі процедури їх генерації) і буде присвячена ця робота.

Постановка проблеми. Задана початкова множина M об'єктів (сигналів) w . Додатково на множині M задане розбиття R на кінцеве число підмножин, класів Ω_i , ($i = 1, \dots, m$), $M = \bigcup_{i=1}^m \Omega_i$. Припустимо, що розбиття M визначено неповністю. Умовами задачі задана тільки деяка інформація I про класи Ω_i , причому елементи w задаються значеннями деяких ознак x_j , $j = 1, \dots, n$, причому цей набір однаковий для всіх об'єктів, тобто однакова розмірність об'єктів). Деяку скінчено значну функцію $f_R(w)$, яка задає розбиття R , що задана на множині об'єктів M , та дає на виході номер класу i , будемо називати функцією розпізнавання (ФР). Зауважимо, що кожний образ (клас) множини M характеризується певною спільністю деяких властивостей (атрибутів) його елементів (об'єктів), а елементи з різних образів початкового розбиття не мають цієї спільності. У межах цього дослідження загальна задача розпізнавання полягає в тому, щоб для довільного об'єкта w встановити його належність певному класу (образу) на основі схеми дерева розпізнавання. Множини Ω_i також називаються компонентами розбиття множини

М. Сукупність значень ознак x_j , визначає опис (інформацію) $I(w)$ об'єкта w . Кожна з ознак може набувати значення з різних множин допустимих значень. Опис об'єкта $I(w) = (x_1(w), \dots, x_n(w))$ будемо називається стандартним, якщо $x_j(w)$ набарис значення лише з множини допустимих значень. Задача класифікації зі стандартною інформацією полягає в тому, щоб для фіксованого об'єкта w та набору класів $\Omega_1, \dots, \Omega_m$ за допомогою навчальної інформації $I(\Omega_1, \dots, \Omega_m)$ та опису $I(w)$ розрахувати значення деяких предикатів $P_i(w)$, ($w \in \Omega_i$; $i = 1, \dots, m$). Задача розпізнавання образів буде зводитися до навчання системи Q обчислювати функцію $f_R(x)$. Тобто система має реагувати при подачі на вхід деякого сигналу (об'єкта) x , сигналом $f_R(x)$ (фактичним номером класу належності). Основною інформацією при навчанні системи Q є значення функції $f_R(x)$ в деяких точках n -мірного простору (розмірністю в кількість ознак об'єктів множини M). Останнє означає, що при навчанні системи Q їй подаються пари сигналів $((x_i, f_R(x_i)))$. На основі цієї інформації (ап'юріорної інформації) система Q будує схему обчислення функції розпізнавання. Тобто ставиться задача дослідження та розробки таких методів та моделей розпізнавання (відповідних програмних реалізацій), які б давали можливість у процесі навчання побудувати, по можливості, просту деревоподібну схему розпізнавання (схему у вигляді ЛДК або АДК), яка забезпечує необхідну ефективність та складність системи розпізнавання Q .

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Домінуючими підходами на сьогодні в концепції дерев рішень (дерев класифікації) є системи на основі методів CART (спрямованих на розв'язок задач класифікації та регресивного аналізу), а також системи на основі схеми C4.5 та її сучасних модифікацій (для розв'язку задач розпізнавання та класифікації) та ID3 [7]. Схема ID3 базується на використанні обмеженого ентропійного критерію – структура ЛДК будується доти, поки для кожної результуючої вершини (листа дерева) не залишаться лише об'єкти одного фіксованого класу, або доки сама процедура розгалуження в дереві, що будується, дає зменшення початкового ентропійного критерію. Схема C4.5/C5.0 ґрунтується на відомому критерії *Gain-Ratio* (нормативний ентропійний критерій), причому як критерії зупинки процедури розгалуження (побудови дерева) використовується обмеження на кількість об'єктів для результуючої вершини (листа структури ЛДК) [8]. Треба зауважити, що процедура відсікання у структурі ЛДК проводиться за схемою *Error-Based Pruning*, яка базується на загальній оцінці здатності узагальнення для прийняття рішення щодо видалення гілок та вершин конструкції дерева класифікації. Схема CART у своїй роботі використовує критерії Джині, причому процедура відсікання у структурі ЛДК проводиться за схемою *Cost-Complexity Pruning*, а для випадку наявних пропусків атрибутів використовується базова схема сурогатних предикатів. До того ж базову ідею методів розгалуженого вибору ознак (вершин алгоритмів) у структурі АДК можна визначити як оптимальну апроксимацію деякої початкової НВ набором ранжованих алгоритмів класифікації (ознак, атрибутів об'єкта у випадку ЛДК), то на перший план виходить центральне питання – задача вибору ефективного критерію розгалуження (відбору вершин, атрибутів, ознак дискретних об'єктів для ЛДК та алгоритмів для АДК). Ці принципові задачі розглядаються в роботах [4; 6; 15], де порушуються питання якісної оцінки окремих дискретних ознак, їх наборів та фіксованих сполучень, що дозволяє запровадити ефективний механізм реалізації розгалуження. Відомо, що структури моделей дерев класифікації (ЛДК/АДК) характеризується компактністю, з одного боку, та нерівномірністю заповнення (розрядженістю) ярусів, з іншого боку, в порівнянні з конструкціями регулярних дерев [3; 13]. При цьому важливими питаннями залишаються питання збіжності процесу побудови дерев класифікації за методами роз-

галуженого вибору ознак та питання вибору критерію зупинки процесу синтезу логічного дерева [14]. Зауважимо, що концепції дерев класифікації не суперечить можливість як ознаку (вершин структури) дерева класифікації використовувати не тільки окремі атрибути (ознаки) об'єктів їх сполучення (ідея узагальненої ознаки, розглядалась у роботі [4]) та набори, але якщо піти далі та не розглядати як розгалуження атрибутів об'єктів (ознаки), а відбирати окремі незалежні алгоритми розпізнавання, то на виході буде отримане нова структура – АДК (вищий рівень ЛДК). Саме програмним структурам ЛДК і буде присвячена ця робота.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Можливість ефективної та економної програмної (алгоритмічної) схеми побудови логічного дерева класифікації (моделі структури ЛДК) на основі початкових масивів навчальних вибірок (масивів дискретної інформації) великого об'єму потребує ґрунтовного всебічного дослідження.

Мета роботи. Метою цієї роботи є вивчення особливостей генерації та представлення правил, схем, моделей класифікації в задачах розпізнавання на основі структур дерев рішень. Розробка загальної програмної схеми методу побудови ЛДК для навчальних вибірок великого об'єму. Результатом роботи є простий програмний механізм синтезу моделей ЛДК для задач класифікації дискретних об'єктів у довільних шкалах.

Виклад основного матеріалу. Треба зауважити, що довільне ЛДК можна досить просто представити у програмному форматі у вигляді таких базових елементів-масивів:

$T[1..MN]$, $SLED[1..MN]$, $UPOD[1..MN]$, де MN – кількість вершин ЛДК;

$T[1..MN]$ – масив, що характеризує інформацію, яка знаходиться у вершинах ЛДК (перелік міток, атрибутів, вершин структури дерева);

$SLED[1..MN]$ – масив, що вказує на місце наступної вершини, яка знаходиться справа і є нащадком цієї вершини у структурі ЛДК;

$UPOD[1..MN]$ – масив, що характеризує інформацію про місце лівого нащадка цієї вершини.

Зауважимо, що тут $MN < 2N - 1$, M – загальна кількість усіх об'єктів початкової інформації $I(l)$. Відмітимо також, що, крім вказаних масивів, для побудови ЛДК у цій програмній реалізації використовуються набір таких допоміжних масивів – $PR[1..N]$, $PR1[1..N]$, $SRP[1..N]$.

Отже, для програмної побудови ЛДК необхідно $M * N$ байт оперативної пам'яті (у найпростішому випадку) для зберігання початкової інформації $I(l)$, а також $3 * MN * (6M - 1)$ байт – для зберігання масивів N , $SLED$, $UPOD$ та $3N$ байт для зберігання масивів PR , $PR1$, SRP (знову же таки – байт тільки для найпростішого випадку). На наступному етапі розглянемо наступний приклад та через нього представимо загальну схему алгоритму програмної побудови фіксованого ЛДК.

Приклад. Нехай маємо деяке ЛДК, яке має фіксовану чотириярусну структуру (рис. 1), причому наведене дерево однозначно визначається наступною інформацією базових масивів T , $SLED$ та $UPOD$ – представлених у табличній формі (табл. 1).

Таблиця 1

Інформаційний вміст масивів T , $SLED$ та $UPOD$

T	7	5	1	0	3	1	2	1	0	0	4	1	0
$SLED$	0	3	0	5	0	7	0	9	0	11	0	13	0
$UPOD$	2	4	6	0	8	0	10	0	0	0	12	0	0

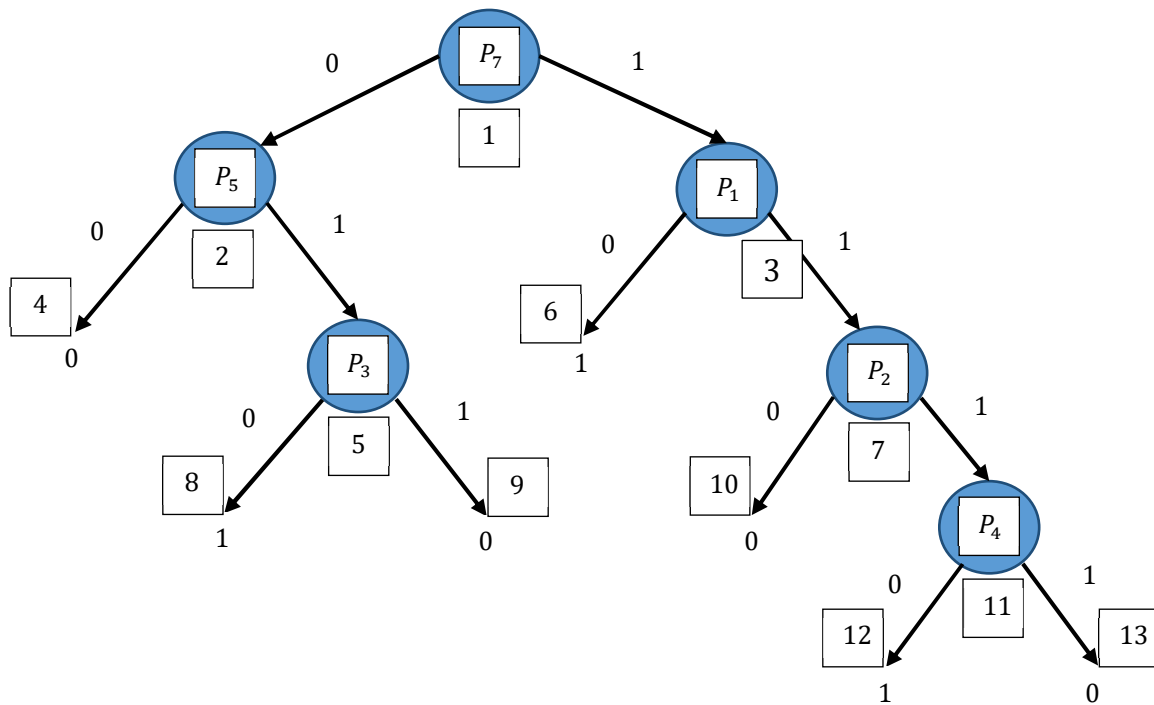


Рис. 1. Загальний вигляд початкового ЛДК

Тут слід зауважити, що типи всіх представлених масивів – це масиви байтів (зрозуміло, що це залежить від інформаційної ємності міток самого ЛДК, типізації атрибутів логічного дерева, початкових умов самої задачі, типу та об'єму початкової інформації $I(l)$).

Зрозуміло, що в цьому прикладі фактична структура отриманого ЛДК представляється за допомогою вмісту трьох основних масивів. Отже, маючи сформовані ці три масиви, можна графічно відтворити структуру побудованого програмно ЛДК.

Зважаючи на все вищенаведене, запропонуємо таку алгоритмічну реалізацію побудови ЛДК за даними початкової інформації $I(l)$.

Загальна схема алгоритму побудови ЛДК за даними початкової ІВ.

Крок 1. Вибір шляху в ЛДК, що не приводить у кінцеву вершину. $UPOD = 1$, $PR = 0$, $TT = 2$, $KI1 = 0$, $SLED = 0$, $MMM1 = M * 2 - 1$.

Крок 2. $TT = TT + 2$. Якщо $TT = 0$, то перейти на Крок 9.

Крок 3. $KI = KI + 1$. Якщо $UPOD[KI] \geq 0$, то перейти на Крок 7. $KII = KI$. Якщо $KII = 1$, то перейти на Крок 9.

Крок 4. Якщо $SLED[KII] > 0$, то: ($SRP[KI1 + 1] = 0$, $PAR = KI$), в іншому випадку: ($SRP[KI1 + 1] = 1$, $PAR = KII - 1$, $KII = KII - 1$).

Крок 5. $IK2 = KII + 1$.

Крок 6. $KI2 = KI2 - 1$. Якщо $UPOD[IK2] = PAR$, то: ($KI1 = KI1 + 1$, $PR1[T[IK2]] = 1$, $PR1[KI1] = T[IK2]$, $KII = IK2$). Якщо $KII = 1$, то перейти на Крок 9.

Якщо $KII = 0$, то перейти на Крок 5.

Крок 7. Якщо $KII < TT$, то перейти на Крок 3.

Крок 8. $IJKL = 0$.

Крок 9. Якщо $PR[1] = 0$ та $TT = 0$, то перейти на Крок 13.

Крок 10. (Етап обчислення значень функціоналу важливості ознак [6; 15]). Обчислити значення функціоналу для всіх P_i , що входять в область його визначення та знайти ознаку, яка має найбільшу інформативність (якість, важливість). Інформація щодо $P_{i_1}, \dots, P_{i_\xi}$ та $\eta_{i_1}, \dots, \eta_{i_\xi}$ знаходиться в масивах PR , SRP відповідно.

Крок 11. На основі *Кроку 10* заповнити відповідні значення масивів T , $SLED$, $UPOD$.

Крок 12. Перейти на *Крок 2*.

Крок 13. (Етап розпізнавання НВ за побудованим ЛДК).

Крок 14. $I = I + 1$, $II = 1$.

Крок 15. $I1 = T[II]$. Якщо $UPOD[II] = 0$, то ($PASP[I] = I1$. Перейти на *Крок 16*).

Якщо $TB[I, I1] = 0$, то ($II = UPOD[II]$. Перейти на *Крок 15*). $II = UPOD[II] + 1$.

Перейти на *Крок 14*.

Крок 16. Якщо $I < M$, то перейти на *Крок 14*.

Крок 17. Очистити всі змінні та масиви, звільнити пам'ять.

Крок 18. Закінчити роботу алгоритму (END).

Зазначимо, що в запропонованому алгоритмі заслуговують уваги такі часові характеристики:

Загальний час побудови результуючого ЛДК залежить від об'єму початкової інформації $I(l)$, тобто при збільшенні потужності початкової інформації $I(l)$ час на побудову ЛДК є лінійною функцією від $I(l)$;

Загальний час прийняття рішень (на основі програмно побудованої структури цього ЛДК) не перевищує n простих порівнянь, де n – кількість ознак у початковій інформації $I(l)$ (фактичний час проходження за фіксованим шляхом у структурі ЛДК).

Зауважимо, що якщо в наведеному вище алгоритмі *Крок 10* замінити на виклик процедури генератора випадкових чисел (PRG) для вибору деякої ознаки, то цей алгоритм буде будувати множину випадкових дерев розпізнавання, над якими можна буде здійснювати операції замикання (питання ВДК уже розглядалось у попередніх розділах цього дослідження).

Станом на сьогодні відомо близько трьох десятків готових ПС та середовищ для побудови різних типів моделей дерев класифікації (дерев рішень) у вигляді структур ЛДК (RStudio, RulQuest, DTTL v1.5, RLQTree, DCT v7, Precision Tree System, Edraw, SHAIDS, Weka, ЛАСТАН, АУРОН та інші) та лише одна ПС яка базується на концепції АДК (ОРОН). Усі ці системи відрізняються прикладною спрямованістю задач, що розв'язуються, методами та концептуальними засадами, різноманітним рівнем підтримки, причому багато з них знаходять у вільному (або частково вільному) доступі. Домінуючими підходами є системи на основі методів CART (спрямованих на розв'язок задач класифікації та регресивний аналіз), а також ПС на основі схеми C4.5 та її сучасних модифікацій (для розв'язку задач розпізнавання та класифікації), ID3. Зауважимо що ПС, які базуються на алгоритмах схеми C4.5/C5.0 (за авторством J. Ross Quinlan) використовують як критерій чистоти підмножин початкової НВ параметр ентропії. Використовуючи ентропію як міру чистоти (однорідності) класів (підмножин початкової НВ), які є результатом процедури розбиття, алгоритм може зафіксувати (відібрати) ту ознаку (атрибут), розбиття за якою дає найчистішу (однорідну) підмножину початково НВ (тобто підмножину початкової НВ з найменшою ентропією). Така схема в літературі позначається – *information gain* (схема підсилення інформації), причому якщо для відібраної ознаки x_i величина *information gain* є нульовою, то це фактично означає безперспективність (неможливість) розбиття НВ на підмножини – не приводить до зменшення коефіцієнту ентропії. Підкреслимо, що максимально можливе значення величини *information gain* дорівнює величині ентропії до розбиття, а це, у свою чергу, означає, що ентропія після поточного розбиття частини НВ буде дорівнювати нулю для повністю чистих (однорідних) підмножин початкової НВ [17-21].

У зв'язку з тим, що структури ЛДК після побудови за вибірками реальних даних великого об'єму мають здебільшого складну для аналізу та неоднорідну за рівнями (ярусами) структуру, то принциповою проблемою залишається питання організації процедури оптимізації або обрізки (*pruning*) таких конструкцій. Під складністю структури ЛДК

розуміється загальна кількість вершин конструкції дерева (вузлів розгалуження), у такому випадку зазвичай мається на увазі, що модель ЛДК перевизначена (*is overfitted*). Важливою особливістю схеми C5.0 у плані корекції структури побудованого дерева є можливість використання механізму – *post-pruning*, коли відкидаються ті вузли, боки конструкції, піддерева, які мало (відповідно до деякого заданого критерію) впливають на результат загальної класифікації (допустима помилка), причому допускається не лише просте відсікання структур дерева, але і їх перенесення в іншу частину структури ЛДК, або заміну на іншу конструкцію з меншою структурною складністю (меншої розгалуженості). Ці схеми оптимізації (обрізки) структур ЛДК – *subtree raising* (підняття піддерева) та *subtree replacement* (заміна піддерева) у процедурі *pruning* використовуються в C5.0 та в небагатьох інших методах побудови дерев класифікації, причому абсолютна більшість інших методів та схем базується на процедурі попередньої обрізки структури ЛДК що будуються – *pre-pruning*, яка має суттєві недоліки щодо можливості пропуску (відсікання) важливих даних, які важко виявити. Отже, зважаючи на вище сказане, можна зафіксувати наступні особливості схеми C5.0 у плані побудови структур ЛДК.

Високий рівень універсальності та адаптивності дозволяє роботу з широким спектром прикладних задач різноманітних галузей практичної діяльності (обмеження щодо структури та природи початкової НВ не накладаються).

Універсальність щодо типів початкових масивів даних дозволяє працювати не тільки з дискретними вибірками, але також із масивами номінальних даних (дозволяє коректну обробку випадків пропущених даних).

Організація розгалуження у структурі ЛДК за принципом селекції елементарних ознак – причому враховуються тільки найбільш важливі (інформативні) ознаки (атрибути) дискретних об'єктів, тобто такі, які мають найбільший вплив на остаточну класифікацію.

Незалежність відносно об'єму та структури початкової НВ – дає можливість працювати з початковими НВ як щодо невеликого об'єму, так і з надвеликими масивами даних.

Висока простота та наочність інтерпретації роботи побудованої моделі (структури ЛДК), яка не вимагає спеціалізованої математичної підготовки.

Висока ефективність побудованих моделей ЛДК – навіть у порівнянні з аналогічними структурами (моделями) побудованими за класичними схемами C4.5 та CART.

Попри високу ефективність у практичній площині, наявність якісного механізму оптимізації (обрізки, *post-pruning*) побудованих структур ЛДК схема C5.0 не позбавлена й певних системних недоліків, які обов'язково потрібно враховувати як при реалізації, так і при роботі з побудованими моделями ЛДК.

Визначальною особливістю є те, що будуються дерева високої структурної складності з великою кількістю вершин, рівнів (ярусів) та високою неоднорідністю побудованої структури. Така особливість схеми C5.0 накладає високі вимоги на ефективність роботи процедури обрізки побудованої структури ЛДК та негативно впливає на інтерпретабельність – можливість доступного аналізу моделі та простого сприйняття побудованих конструкцій дерев класифікації.

Модель ЛДК, яка побудована на основі схеми C5.0 може бути як недовизначеною (*overfit*), так і перевизначеною (*underfit*).

У роботі моделі ЛДК, яка побудована на основі схеми C5.0 можливі певні неточності (помилки) класифікації у зв'язку з використанням лише прямого розбиття на підмножини (*axis-parallel split*).

Принциповою особливістю схеми C4.5/C5.0 [24-27] є її дуже висока чутливість щодо корекції у структурі та об'єму початкової НВ – причому навіть її відносно невеликі зміни можуть приводити до дуже різких змін структурної складності (радикального збільшення вершин, ярусів конструкції дерева класифікації) та ефективності процедури кінцевої оптимізації (обрізки) побудованих моделей ЛДК.

Моделі ЛДК, які побудовані на основі схеми C5.0, в абсолютній більшості випадків відрізняються великою складністю, а їх аналіз можливий лише за рахунок автоматичного або зовнішнього виділення правил класифікації конструкції ЛДК.

Звичайно, що представленими алгоритмами, ПС та фреймворками не обмежуються програмні реалізації концепція дерев рішень [28-31]. Так, в Ужгородському національному університеті на основі представленої вище в дослідженні схеми побудови ЛДК (селекції наборів елементарних ознак) була написана ПС DeTree, яка базується на концепції розгалуженого вибору ознак та дозволяє працювати з НВ великого та надвеликого об'єму (рис. 2). Причому на початковому етапі проектування ПС ставилися такі базові вимоги щодо загального функціонала системи.

Значна увага приділялася оптимізації алгоритмів побудови моделі класифікації для досягнення максимальної швидкості – як генерації, так і роботи самої побудованої моделі ЛДК (*Runtime speed/Operation speed*).

Вимога на якісну та ефективну роботи з оперативною та постійною пам'яттю інформаційної системи у зв'язку зі спрямованістю на масиви початкових даних великого об'єму.

Простий та зручний інтерфейс для оператора, обов'язкова наявність автоматичного (заснованого на різних алгоритмах) та інтерактивного режиму генерації моделей ЛДК.

Вимога простого портування готової ПС на інші апаратно/програмні платформи в перспективі.

Вимога на можливість постпроцедурної корекції та донавчання побудованої структури дерева класифікації.

Вимога на можливість роботи з НВ вибірками великого та надвеликого об'єму.

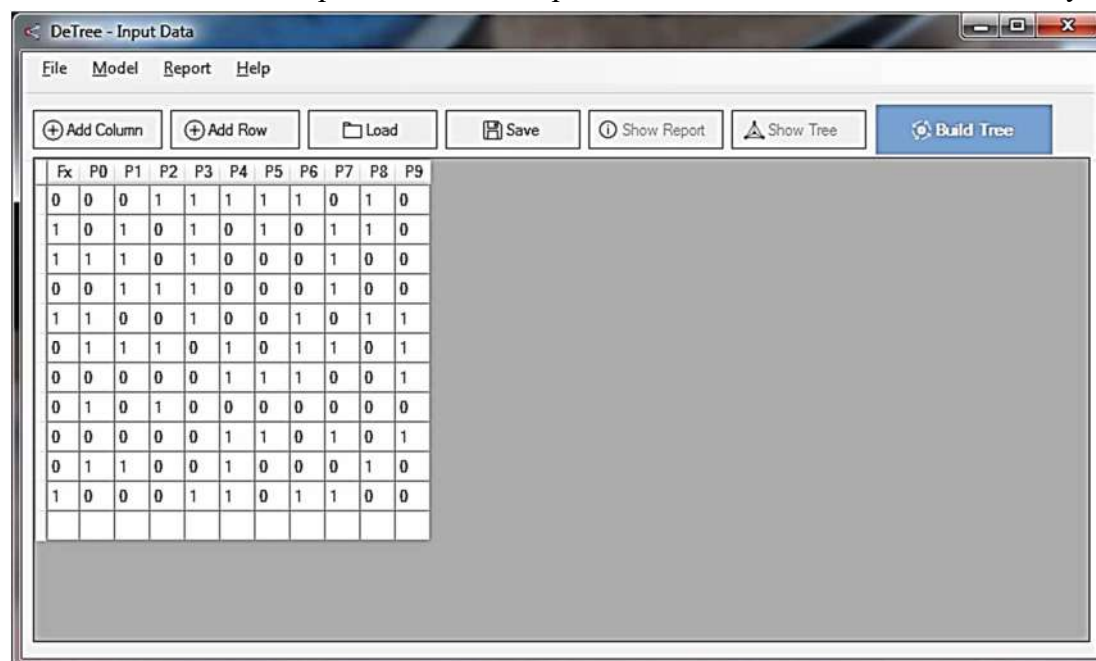


Рис. 2. Загальний інтерфейс ПС DeTree

Відповідно до даних вимог було вирішено розділити програмний продукт на два базові проекти (компоненти) – *DeTreeBackend* та *DeTree*, причому для зручності компонент *DeTreeBackend* представляється як бекенд, а *DeTree* – як фронтенд. У цій схемі ПС *DeTree* компонент *DeTreeBackend* забезпечує функціонал усіх базових обчислень (усіх схем обробки даних та менеджер пам'яті) та додатково містить у собі набір класів та алгоритмів низькорівневого функціонала. Компонент *DeTree*, у свою чергу, реалізує повний функціонал роботи з боку користувача (інтерактив) та забезпечує роботу довідкової

та сервісної служби. Якщо розглядати реалізаційну схему програмного продукту з погляду патерну *MVC (Model-View Controller)*, проєкт фронтенду (*DeTreeBackend*) виконує функції *View* та відповідає за базовий ввід та вивід даних, причому контролером у цій реалізаційній схемі виступає безпосередньо проєкт бекенду (*DeTree*). За основу базових потоків даних у програмному продукті фіксувалася схема вводу та виводу даних із файлів для не критичних за швидкістю ділянок коду (для максимальної економії оперативної пам'яті). Така організація обчислень дозволяє достатньо ефективно розділяти логіку програмного забезпечення на окремі логічні підсистеми (компоненти).

Як інструментарій розробки для компонента (*DeTree*) було обрано мову програмування *C++* (з додатковою можливістю портування коду), причому такий вибір значною мірою пояснюється можливістю компіляції в нативний код та можливістю роботи з низькорівневими задачами, такими як робота з оперативною пам'яттю, функціонал вводу виводу даних. Також такий вибір інструментарію розробки дозволяє забезпечити ефективну розробку основної логіки програми, а її базовий код відносно просто може бути портований на різні апаратно/програмні системи. Для компонента *DeTreeBackend* було обрано інструментарій *C#* з метою простоти створення графічних інтерфейсів для платформи *Windows* (середовище розробки *Microsoft Visual Studio*) (рис. 3).

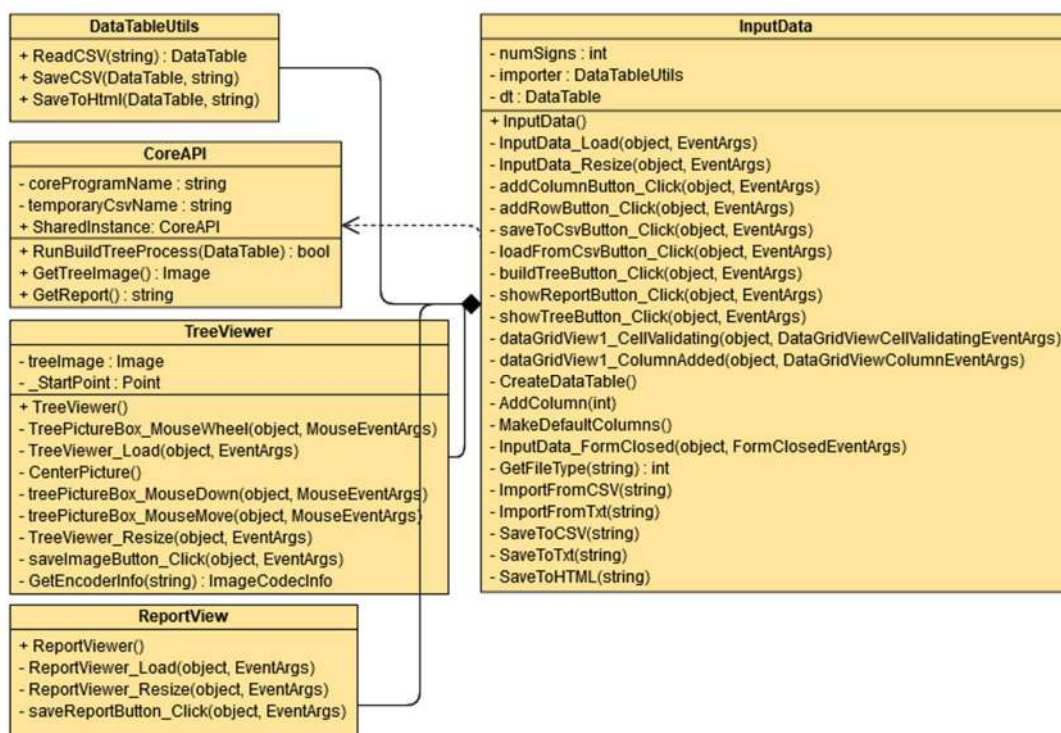


Рис. 3. UML – схема організації компонентів *DeTree*

Frontend Overview (DeTree). Відмітимо, що проєкт фронтенду складається з чотирьох основних вікон (*Forms*) та двох базових класів, причому форми забезпечують функції користувацького інтерфейсу та відображення різнотипної робочої інформації в процесі побудови структур ЛДК. Серед основних форм можна виділити такі:

- Форма поточного статусу роботи програми.
- Форма базового вводу виводу інформації задачі та даних інтерактивного режиму генерації ЛДК.
- Форма візуалізації згенерованої структури моделі ЛДК для автоматичного та інтерактивного режиму роботи ПС.
- Форма сервісної візуалізації проміжних процедур обрахунку даних у процесі побудови структури ЛДК.

Основним компонентом базового вводу даних обрано графічний елемент – *DataGrid*, що дозволяє досить гнучко та просто працювати з динамічними табличними даними (генерувати та корегувати таблиці різної розмірності та типу, виконувати первинні перевірки коректності вхідних даних та забезпечувати електронний підпис елементів табличних даних унікальними цифровими ідентифікаторами. Додатково у структурі компонента базового вводу даних для цієї форми доступний функціонал завантаження та зберігання табличних даних у найбільш поширених форматах даних (*cvs/cur/bin/dat/txt/html*), причому ця форма містить верхню панель інструментів відповідного завантаження/збереження даних, інструменти зміни типу/розмірності таблиці вхідних даних, інструменти візуалізації результатів обрахунків у текстовому та графічному вигляді, а також безпосередньо інструмент генерації структури ЛДК.

Зауважимо, що форма візуалізації побудованого дерева (структури ЛДК) відображає згенероване зображення з відрендереним деревом класифікації, причому доступний функціонал, який дозволяє основні функції зміни масштабу зображення та інструменти збереження його у графічній формі (основних графічних форматах).

Додатково вікно з візуалізатором процесу обрахунків проміжних даних задачі показує поточний лог розрахунку даних ЛДК на стороні компонента бекенду, причому до функціонала цієї форми можна віднести можливість збереження опису обрахунків у системний лог – файл для наступної перевірки (корекції параметрів моделі) та аналізу. Так, структура компонента фронтенду містить два базові класи – один з яких для роботи з імпортом та експортом файлів у форматі даних (CSV, HTML та ін.), інший для безпосереднього керування процесом обчислень на стороні бекенду. Робота з бекендом проводиться безпосередньо за допомогою базового класу *Process* бібліотеки *System.Diagnostics*, саме за його допомогою створюється системний процес, який запускає компонент бекенду з набором основних аргументів командного рядка.

Так, перед запуском процесу побудови дерева класифікації, компонент фронтенду формує пакет вхідних даних – цей процес проводиться за допомогою конвертування даних графічного елементу *DataGrid* з типу *DataTable* у файл формату CSV, а після конвертування даних процес побудови дерева класифікації може завантажити файл на своїй стороні та провести необхідні обчислення (рис. 4).

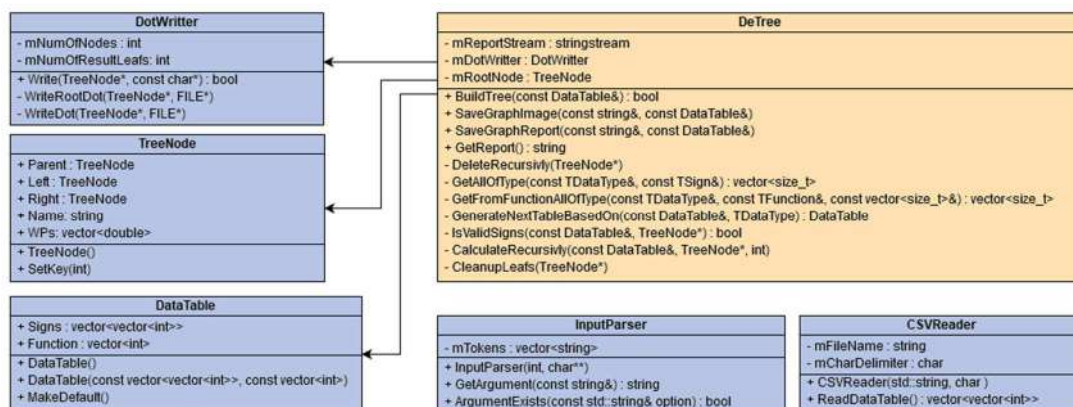


Рис. 4. UML – схема бекенду DeTree

Backend Overview (DeTreeBackend). Як уже наголошувалось вище, проєкт бекенду написаний мовою програмування C++ та являє собою класичний консольний додаток, який забезпечує базовий функціонал усіх математичних обрахунків даних (алгоритмічних схем), збір та роботу з інформацією на їх основі. Основний комунікаційний інтерфейс із нею реалізований, як варіант – через набори аргументів командного рядка, відповідно сформовані пакети даних, так і через графічний інтерфейс форми фронтенду.

На сьогодні бекенд складається з базових 14 класів та 12 структур даних. Наприклад, клас *InputParser* описує загальну логіку роботи для аналізу та розбиття наборів вхідних аргументів командного рядка на токени, цей клас забезпечує можливість швидкої перевірки та обробки вхідних параметрів командного рядка ПС, перевірки коректності їхніх значень. Наприклад, для завантаження даних ознак (атрибутів), у набори аргументів командного рядка використовується синтаксис вигляду $(-f <filename>)$, де відповідний клас парсеру перевіряє наявність аргументу вхідного файлу та дає можливість отримати безпосередньо значення шляху.

Після етапу обробки та аналізу набору вхідних параметрів та сформованих пакетів даних настає етап первинного завантаження масиву даних НВ. Основна схема інтерфейсу комунікації даних між компонентами фронтенду та бекенду полягає через посилання абсолютних шляхів файлів даних у форматі CSV (залежно від налаштувань ПС). Така схема комунікації при передачі даних між компонентами ПС пояснюється значною ефективністю, зручністю в можливості корекції даних та простотою процесу організації. Для завантаження даних у форматі CSV в компоненті бекенду реалізований відповідний клас *CSVReader*, який забезпечує повний функціонал задачі завантаження, базової валідації, корекції та формування внутрішнього представлення CSV таблиць масивів даних. Наприклад, у найпростішому випадку – дані представляються за допомогою внутрішнього псевдоніма *TDataTable*, який, у свою чергу, описується вектором векторів ($std::vector<std::vector<int>>$).

Після етапу завантаження, усіх процедур перевірки даних та їх трансформації у внутрішній формат ПС, система переходить до безпосередньої побудови дерева (структури ЛДК). На етапі проектування ПС, усю внутрішню логіку пов'язану з розрахунками та аналізом даних було винесено в базовий клас *DeTree*, причому для побудови дерева класифікації у структурі цього класу використовується основний метод *BuildTree*. Послідовність кроків побудови структури дерева класифікації (моделі ЛДК) можна визначити таким порядком дій.

Підготовчий етап початкового вибору та ініціалізації базових параметрів та налаштувань ПС під реалію конкретної прикладної задачі відповідно до умов генерації структури (моделі) ЛДК – критеріїв розгалуження та критеріїв зупинки побудови дерева класифікації.

Початковий етап валідації наборів вхідних даних поточної задачі (перевірка на коректність різних типів даних НВ та ТВ), вибір та перевірка на коректність основних режимів (параметрів) роботи процедури генерації дерева класифікації.

Етап забезпечення первинних процедур запиту, виділення та розподілу оперативної пам'яті системи під центральну вершину (*Root Node*), вузли та переходи структури дерева класифікації (робота менеджера пам'яті ПС).

Етап роботи рекурсивної процедури обрахунку набору величин інформативності (важливості) атрибутів (ознак) $W(P_i)$, відповідно до обраного автоматично або в інтерактивному режимі критерію розгалуження структури ЛДК.

Етап генерації структури ЛДК (вузлів дерева класифікації) відповідно до зафіксованих критеріїв розгалуження та зупинки побудови дерева класифікації.

Етап роботи процедури відсікання (оптимізації структури ЛДК) для мінімізації структурних компонентів (вузлів, блоків) побудованого дерева класифікації.

Етап фінальної перевірки основних параметрів побудованої структури ЛДК (моделі класифікації) в автоматичному або інтерактивному режимі залежно від початкових налаштувань ПС.

Етап постпроцедурного аналізу побудованої моделі (структури ЛДК), етап декомпозиції синтезованого дерева класифікації з виділенням та збереженням окремих правил класифікації.

Зазначимо, що процедура рекурсивного обрахунку величин інформативності атрибутів базується на основному методі *CalculateRecursively*, а весь функціонал вузлів конструкції ЛДК працює на основі базової структури вузла дерева (*Node*) *TreeNode*. У спрощеному випадку структура *TreeNode* складається зі списку інформаційної оцінки атрибутів $W(P_i)$, літерального імені для компонента візуалізації фрагменту ЛДК та унікального цифрового ключа, причому залежно від розташування дана структура містить набір посилань на батьківський, лівий та правий вузли (блоки) конструкції ЛДК (відповідні структури).

Функцію візуалізації побудованих структур ЛДК (генерації зображень як повних дерев класифікації, так і їхніх окремих компонентів) було покладено на формат даних *Dot*, який входить у відкритий програмний продукт *GraphViz* (бібліотека з відкритим програмним кодом), саме на її основі будується графічне представлення дерева класифікації (візуалізації складних граф – схемних представлень) і в багатьох інших подібних програмних продуктах. Для побудови файлу у форматі *Dot* було розроблено базовий клас *DotWriter*, цей клас формує текстове представлення файлу формату *Dot* та на основі рекурсивної процедури обрахунку даних – заповнює його інформацією на основі побудованого дерева класифікації.

На наступному етапі роботи ПС – після завершення всіх операцій розрахунків даних, генерації всіх структур файлу формату *Dot* та формування пакетів даних, базовий клас *DeTree* зберігає всі побудовані набори даних у поточну робочу папку ПС у спеціальному найменуванні (форматі), та викликає зовнішню утиліту (компонент) програмного пакета *GraphViz* – яка на основі файлу формату *Dot* будує графічне (граф – схемне) представлення дерева класифікації (побудованої моделі класифікації). На наступному кроці – після успішного виконання всіх попередніх етапів функціонування ПС, компонент фронтенду відстежує подію коректного у плані формування пакетів даних та безпомилкового завершення процесу бекенду та переходить до процедури фінального завантаження та візуалізації всіх результатів розрахунків поточної задачі (моделі класифікації).

Звернемо увагу, що ПС *DeTree* має можливість збереження як графічного та параметричного представлення побудованої моделі дерева класифікації (структури ЛДК), так і допоміжних даних (проміжних етапів) синтезу конструкції дерева, що дозволяє провести ефективний аналіз самої процедури синтезу дерева класифікації (моделі) та знайти можливі варіанти його фінальної оптимізації (обрізки структури). Одним із варіантів аналізу побудованої структури ЛДК (моделі класифікації) може бути режим роботи ПС *DeTree* – (*step-by-step model decomposition*), який дозволяє провести поетапне виділення правил класифікації з конструкції ЛДК (шляхів у структурі дерева класифікації або фіксованих T – опорних множин) для їх подальшого аналізу та збереження. Зрозуміло, що такий підхід буде актуальний для прикладних задач класифікації з НВ великого та надвеликого об'єму та у випадку великої складності фінальної моделі класифікації (структури ЛДК) після етапу остаточної оптимізації, мінімізації (обрізки конструкції дерева).

Для перевірки побудованого програмного забезпечення використовувалась відома задача про тип лісового покриву (ліс – 581012 елементів масиву вибірки). Структура вибірки (НВ та ТВ) містить сім класів розбиття (типи можливого лісового покриву), причому об'єкт класифікації представляється як послідовність 12 числових ознак та додатково двох багатозначних дискретних атрибутів. Зауважимо що половина початкового масиву вибірки (а саме 290 506 об'єктів відомої класифікації) відводилась для навчання системи, а інша частина для тестування побудованих моделей ЛДК. Загальні дані про задачу та безпосередньо сам масив вибірки для перевірки можна отримати з ресурсу *UCI KDD Archive* (<http://kdd.ics.uci.edu>).

Крім того, алгоритм C4.5 та його ідеологічний нащадок C5.0 були скомпільовані за допомогою відкритого компілятора GCC (для системи *Linux*) з набором однакових параметрів оптимізації та компіляції бінарного коду. Як базова операційна система використовувалася *Fedora Linux 23 (RedHat)*, а для емуляції та запуску *Win32 API* (розробленої ПС DeTree) прошарок *Wine* (бібліотека *libwine*). Усі заміри часу проводились у секундах, а системи побудови структур ЛДК було запущено на двох різних апаратних конфігураціях:

Configuration № 1 – Intel Core I7 7700K / Ram 16 GB;

Configuration № 2 – AMD FX8370 / Ram 16 GB.

Основні результати тестування наведені в порівняльних таблицях 2-4.

Таблиця 2

Порівняння схем побудови ЛДК за кількістю помилок класифікації, кількістю правил класифікації, та часом побудови ЛДК

Алгоритмічна схема	Загальна кількість помилок – E_{All} , %	Загальна кількість правил класифікації – R_{All}	Загальний час генерації ЛДК – T_{All}
C4.5	7,2	5420	Config. № 1 – 34 с. Config. № 2 – 42 с.
C5.0	6,3	4845	Config. № 1 – 186 с. Config. № 2 – 230 с.
DeTree	6,7	5028	Config. № 1 – 102 с. Config. № 2 – 129 с.

Зазначимо, що наведені алгоритмічні схеми C4.5, C5.0 та ПС DeTree можуть генерувати як класифікатори (набори правил класифікації), так і працездатні моделі (структури) ЛДК. В багатьох випадках у задачах аналізу даних набори правил класифікації є кращим варіантом з погляду експерта за рахунок простоти та наочності, ніж структури ЛДК, але, з іншого боку, таке представлення даних є повільним і вимагає значно більшої оперативної пам'яті. Зазначимо, що побудовані схемою C5.0 набори правил (модель ЛДК) мають помітно нижчу частоту помилок у порівнянні з C4.5 та DeTree, причому мають однакову точність готової моделі, але набір правил у моделі C5.0 незначно, але менше. Відносно часу генерації структур ЛДК (та правил класифікації) зафіксуємо, що алгоритм C4.5 набагато швидший за рахунок простоти схеми, достатньої оптимізації та обмежень на процедуру фінальної обрізки (*pruning*). Так, витрати оперативної пам'яті схеми C5.0 переважно значно менше, ніж у C4.5 при побудові набору правил (моделі ЛДК) – було використано 230 МБ, а для C4.5 витрачено 4.3 GB, але однаково більше, ніж у ПС DeTree – 180 Мб.

Таблиця 3

Порівняння схеми бустингу для алгоритму C5.0

Первинне ЛДК алгоритму C5.0	ЛДК алгоритму C5.0 на основі бустингу	Набір первинних класифікаторів алгоритму C5.0	Набір класифікаторів алгоритму C5.0 на основі бустингу
6,7 %	3,8 %	6,2 %	3,6 %

Зауважимо, що загальна схема процедури бустингу в алгоритмі C5.0 не є принципово складною, що дозволяє реалізацію подібних методик (алгоритмів та схем) навіть більшої складності (ефективності) для ПС DeTree та C4.5 у вигляді окремого програмного компонента. Проте механізм бустингу є якісним та ефективним для роботи в порівнянні з іншими подібними ПС побудови дерев рішень.

Таблиця 4

Порівняння схем побудови ЛДК за фіксованою точністю, кількістю вузлів та часом побудови структури ЛДК

Алгоритмічна схема	Загальна кількість помилок – $E_{\text{ДП}}$, %	Загальна кількість вузлів ЛДК – $V_{\text{ДП}}$	Загальний час генерації ЛДК – $T_{\text{ДП}}$
C4.5	6,8	10167	Config. № 1 – 57 с. Config. № 2 – 43 с.
C5.0	6,8	9201	Config. № 1 – 62 с. Config. № 2 – 51 с.
DeTree	6,7	1012	Config. № 1 – 50 с. Config. № 2 – 47 с.

Принциповою особливістю схеми C5.0 у порівнянні з іншими такими алгоритмами побудови дерев класифікації є наявність механізму бустингу (*boosting*). Під бустингом будемо розуміти загальний метод генерації та заключного об'єднання декількох побудованих класифікаторів для підвищення точності класифікації. Зауважимо, що схема C5.0 підтримує прямий бустинг із будь-якою кількістю ітерацій, причому більша кількість ітерацій зазвичай призводить до подальших покращень якості синтезованих класифікаторів. Зрозуміло, що на створення гібридних класифікаторів (на основі процедури бустингу) витрачається значно більше часу, але вираш у додатковій точності моделі може виправдати додаткові витрати процесорного часу. Отже, процедуру бустингу завжди слід проводити, коли потрібна максимальна точність (якість) класифікації, особливо коли первинні класифікатори вже дають непогану точність.

Звернемо увагу, що схеми C4.5, C5.0 та DeTree синтезують моделі ЛДК з аналогічною прогнозною точністю для запропонованої задачі, але C5.0 показує трохи більший час роботи при побудові дерев класифікації при майже однаковій кількості помилок на початковій виборці. Причому основні відмінності полягають у розмірах та структурах побудованих дерев класифікації і часу обчислень при побудові готової моделі – структура дерева C5.0 помітно менше, але витрати часу C5.0 є порівняно більші.

Звернемо увагу, що схема C5.0 включає в себе кілька нових функцій, таких як змінні втрат на неправильну класифікацію, що фактично дозволяє вводити додаткові типи помилок класифікації з різною вартістю (якістю та ціною). У схемі C4.5 та ПС DeTree всі помилки розглядаються як рівні за ціною (якістю, кінцевим впливом), але у прикладних задачах деякі особливі помилки класифікації (різних типів) можуть бути більш серйозними (важкими), ніж інші (звичайно залежно від специфіки задачі). Так, алгоритм C5.0 дозволяє визначити (врахувати) окрему вартість (ціну впливу) для кожної помилки (довільного типу) моделі, що будується, – якщо використовується ця опція (у схемі алгоритму), то в цьому випадку будується класифікатори для мінімізації очікуваних витрат на неправильну класифікацію, а не загальної частоти помилок структур ЛДК, причому самі помилки класифікації (випадки) також можуть мати неоднакове значення (ціну). У схемі C5.0 передбачено відповідний параметр (атрибут) ваги випадку (помилки класифікації), який кількісно та якісно визначає важливість кожного такого випадку (фактично схема C5.0 намагається мінімізувати зважену частоту помилок прогнозування).

Більшість сучасних ПС і комплексів інтелектуального аналізу даних характеризуються дуже високою універсальністю у плані розмірності та структури НВ – із сотнями й тисячами атрибутів (ознак). Принциповою особливістю схеми C5.0, яка відсутня в C4.5 та DeTree (але може бути додатково реалізована окремим модулем) є автоматичне відсіювання атрибутів (ознак) перед побудовою класифікатора, які характеризуються лише незначною кореляцією (релевантністю). Для НВ великого та надвеликого об'єму така

початкова корекція масивів даних може призвести до зменшення складності класифікаторів та підвищення точності розпізнавання, а також часто може скоротити час необхідний для побудови наборів правил класифікації. Звернемо також увагу на простоту у використанні системи DeTree та C5.0. Програмний інструмент RuleQuest (з відкритим кодом) дозволяє забезпечити процедури читання та інтерпретації класифікаторів схем See5/C5.0 (See5 – відкрита програмна реалізація алгоритму C5.0 на Java). Після того як класифікатори (моделі дерев класифікації) були побудовані алгоритмами See5/C5.0 – ця система дозволяє отримати до них доступ з інших незалежних ПС.

Висновки відповідно до статті. Отже, зважаючи на все вищенаведене, можна зафіксувати такі пункти:

В одному з варіантів, загальну структуру довільного ЛДК можна досить просто представити у програмному форматі у вигляді трьох базових елементів (набору трьох масивів). Треба зауважити, що для програмної побудови ЛДК необхідно $M * N$ байт оперативної пам'яті (для простого випадку) для зберігання початкової інформації $I(l)$, а також $3 * MN * (6M - 1)$ байт – для зберігання трьох базових масивів та $3N$ байт для зберігання трьох допоміжних. Зауважимо, що час побудови результуючого ЛДК залежить від об'єму початкової інформації $I(l)$ (є лінійною функцією від $I(l)$), а час прийняття рішень за побудованим ЛДК не перевищує n простих порівнянь, де n – кількість ознак у початковій інформації $I(l)$. Запропонований вище алгоритм дозволяє забезпечити ефективний механізм програмної побудови фіксованого ЛДК за набором деяких початкових даних (НВ).

На сьогодні відомо десятки ПС побудови різних типів моделей дерев класифікації (дерев рішень) у вигляді структур ЛДК та лише одна ПС, яка базується на концепції АДК, причому всі ці системи відрізняються прикладною спрямованістю задач, що розв'язуються, методами та концептуальними засадами, різноманітним рівнем підтримки, причому багато з них є у вільному (або частково вільному) доступі.

Домінуючими підходами методів та схем дерев рішень є системи на основі методів CART (спрямованих для розв'язку задач класифікації та регресивного аналізу), а ПС на основі схеми C4.5/C5.0 та їхніх сучасних модифікацій/реалізацій (для розв'язку задач розпізнавання та класифікації) та платформи (набори алгоритмів) прямого та градієнтного бустингу (бібліотеки LightGBM та XGBoost).

У зв'язку з тим, що структури дерев класифікації після побудови за вибірками реальних даних великого об'єму – мають здебільшого складну для аналізу та неоднорідну за рівнями (ярусами) структуру, то принциповою проблемою залишається питання організації процедури оптимізації або обрізки (pruning) таких конструкцій. Значна ефективність того чи іншого алгоритму або схеми дерев класифікації значною мірою визначається ефективною реалізацією (ефективністю реалізованих алгоритмів) саме цього компонента.

Попри високу ефективність у практичній площині, наявність якісного механізму оптимізації, мінімізації побудованих структур дерев класифікації схема C5.0 не позбавлена і певних системних недоліків, які обов'язково потрібно враховувати як при реалізації, так і при роботі з побудованими моделями ЛДК.

ПС DeTree базується на концепції розгалуженого вибору ознак (поетапної селекції ознак) та дозволяє працювати з НВ різнотипної інформації широкого спектра прикладних задач. Причому на початковому етапі проектування ПС ставилися базові вимоги щодо загального функціонала системи – наявність ефективного менеджера пам'яті системи, спрямованість на роботу з масивами даних великого та надвеликого об'єму, вимога на ефективність та оптимізацію коду системи, простота інтерфейсу оператора, наявність автоматичного та інтерактивного режимів роботи системи, вимога кросплатформності готової системи, вимога на корекцію та донавчання готової моделі класифікації (структури ЛДК).

Послідовність кроків побудови структури дерева класифікації (моделі ЛДК) у PS DeTree можна визначити таким порядком дій: початковий етап визначення та ініціалізації базових параметрів, етап валідації вхідних даних та визначення режимів роботи PS, етап роботи базових процедур менеджера пам'яті, етап формування та інформаційної оцінки наборів ознак (атрибутивів), етап формування структури ЛДК (вузлів та переходів), етап оптимізації та мінімізації конструкції ЛДК (фінальної обрізки дерева класифікації), етап кінцевої перевірки параметрів побудованої моделі класифікації (ЛДК), етап аналізу та виділення правил класифікації.

Одним із варіантів аналізу побудованої структури ЛДК (моделі класифікації) може бути режим роботи PS DeTree (step-by-step model decomposition), який дозволяє провести поетапне виділення правил класифікації з конструкції ЛДК для їх подальшого дослідження та збереження, причому зрозуміло, що такий підхід буде актуальний для прикладних задач класифікації з НВ великого та надвеликого об'єму та у випадку великої складності фінальної моделі класифікації (структури ЛДК) після етапу остаточної оптимізації, мінімізації (обрізки конструкції дерева).

Список використаних джерел

1. Повхан І. Ф. Особливості випадкових логічних дерев класифікації в задачах розпізнавання образів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: технічні науки*. 2019. Т. 30(69), № 5, С. 152–161.
2. Povhan I. Generation of elementary signs in the general scheme of the recognition system based on the logical tree. *Збірник наукових праць «Електроніка та інформаційні технології»*. 2019. Vol. 12. С. 20-29.
3. Povhan I. Question of the optimality criterion of a regular logical tree based on the concept of similarity. *Збірник наукових праць «Електроніка та інформаційні технології»*. 2020. Vol. 13. С. 19-27.
4. Повхан І. Ф. Особливості синтезу узагальнених ознак при побудові систем розпізнавання за методом логічного дерева. *Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання ІТКМ-2019 : матеріали міжнародної науково-практичної конференції*. Івано-Франківськ, 2019. С. 169–174.
5. Kotsiantis S. B. Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *Informatica*. 2007. № 31. Pp. 249–268.
6. Суботин С. А. Построение деревьев решений для случая малоинформативных признаков. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. № 1. Pp. 121–130.
7. Deng H., Runger G., Tuv E. Bias of importance measures for multi-valued attributes and solutions. *Proceedings of the 21st International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)*. 2011. Pp. 293–300.
8. Srikant R., Agrawal R. Mining generalized association rules. *Future Generation Computer Systems*. 1997. Vol. 13. № 2. Pp. 161–180.
9. Quinlan J.R. Induction of Decision Trees. *Machine Learning*. 1986. № 1. Pp. 81–106.
10. Miyakawa M. Criteria for selecting a variable in the construction of efficient decision trees. *IEEE Transactions on Computers*. 1989. Vol. 38, № 1. Pp. 130–141.
11. Whitley D. An overview of evolutionary algorithms: practical issues and common pitfalls. *Information and Software Technology*. 2001. Vol. 43, № 14. Pp. 817–831.
12. Vtogoff P. E. Incremental Induction of Decision Trees. *Machine Learning*. 2009. № 4. Pp. 161–186.
13. Лавер В. О., Повхан І. Ф. Алгоритми побудови логічних дерев класифікації в задачах розпізнавання образів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: технічні науки*. 2019. Т. 30(69), № 4. С. 100–106.
14. Povhan I. Designing of recognition system of discrete objects. *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, 2016, Ukraine. Lviv, 2016. Pp. 226–231.
15. Повхан І. Ф. Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об'єктів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: технічні науки*. 2018. Т. 29(68), № 6. С. 217–222.

16. Mingers J. An empirical comparison of pruning methods for decision tree induction. *Machine learning*. 1989. Vol. 4, № 2. Pp. 227–243.
17. Subbotin S. A. Methods and characteristics of locality-preserving transformations in the problems of computational intelligence. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2014. № 1. Pp. 120–128.
18. Subbotin S. A. Methods of sampling based on exhaustive and evolutionary search. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2013. Vol. 47, № 3. Pp. 113–121.
19. De Mántaras R. L. A distance-based attribute selection measure for decision tree induction. *Machine learning*. 1991. Vol. 6, № 1. Pp. 81–92.
20. Alpaydin E. Introduction to Machine Learning. London: The MIT Press, 2010. 400 p.
21. Painsky A., Rosset S. Cross-validated variable selection in tree-based methods improves predictive performance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2017. Vol. 39, № 11. Pp. 2142–2153.
22. Василенко Ю. А., Повхан І. Ф., Ващук Ф. Г. Загальна оцінка мінімізації деревоподібних логічних структур. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2012. Т. 2, № 4(56). С. 29–33.
23. Povhan I. General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects. *Збірник наукових праць «Електроніка та інформаційні технології»*. 2019. Вип. 11. С. 112–117.
24. What is the C4.5 algorithm and how does it work (2019). URL: <https://towardsdatascience.com/what-is-the-c4-5-algorithm-and-how-does-it-work-2b971a9e7db0>.
25. C5.0 Classification Models (2020). URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/C50/vignettes/C5.0.html>.
26. C5.0 Decision Trees and Rule-Based Models (2020). URL: <https://topepo.github.io/C5.0/reference/C5.0.html>.
27. C5.0 An Informal Tutorial (2020). URL: <https://www.rulequest.com/see5-unix.html>.
28. Subbotin S., Oliinyk A. The dimensionality reduction methods based on computational intelligence in problems of object classification and diagnosis. *Recent Advances in Systems, Control and Information Technology / R. Szewczyk, M. Kaliczyńska (Eds.) Cham: Springer (Advances in Intelligent Systems and Computing)*, 2017. Vol. 543. Pp. 11–19.
29. Subbotin S. A. Random forest model building using a priori information for diagnosis. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. № 23. Pp. 962–973.
30. Dietterich T. G. An experimental comparison of three methods for constructing ensembles of decision trees: bagging, boosting, and randomization. *Machine learning*. 2019. Vol. 40(2). Pp. 139–157.
31. Kamiński B., Jakubczyk M., Szufel P. A framework for sensitivity analysis of decision trees. *Central European Journal of Operations Research*. 2017. Vol. 26(1). Pp. 135–159.

References

1. Povkhan, I. F. (2019). Osoblyvosti vypadkovykh lohichnykh derev klasyfikatsii v zadachakh rozpiznavannia obraziv [Features random logic of the classification trees in the pattern recognition problems]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: tekhnichni nauky – Scientific notes of the Tauride national University. Series: technical Sciences*, 30(69)(5), pp. 152–161.
2. Povhan, I. (2019). Generation of elementary signs in the general scheme of the recognition system based on the logical tree. *Electronics and information technologies*, 12, pp. 20–29.
3. Povhan, I. (2020). Question of the optimality criterion of a regular logical tree based on the concept of similarity. *Electronics and information technologies*, 13, pp. 19–27.
4. Povkhan, I. F. (2019). Povkhan I. F. Osoblyvosti syntezy uzahalnennykh oznak pry pobudovi system rozpiznavannia za metodom lohichnoho dereva [Features of synthesis of generalized features in the construction of recognition systems using the logical tree method]. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterne modeliuvannia ITKM-2019: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Materials of the international scientific and practical conference “Information technologies and computer modeling ITKM-2019”* (pp. 169–174).
5. Kotsiantis, S. B. (2007). Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *Informatica*, (31), pp. 249–268.

6. Subbotin, S. A. (2019). Postroyeniye derevov resheniy dlia sluchaia maloynformatyvnykh pryznakov [Construction of decision trees for the case of low-information features]. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), pp. 121–130.
7. Deng, H., Runger, G., Tuv, E. (2011). Bias of importance measures for multi-valued attributes and solutions. *Proceedings of the 21st International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)* (pp. 293–300).
8. Srikant, R., Agrawal, R. (1997). Mining generalized association rules. *Future Generation Computer Systems*, 13(2), pp. 161–180.
9. Quinlan, J. R. (1986). Induction of Decision Trees. *Machine Learning*, (1), pp. 81–106.
10. Miyakawa, M. (1989). Criteria for selecting a variable in the construction of efficient decision trees. *IEEE Transactions on Computers*, 38(1), pp. 130–141.
11. Whitley, D. (2001). An overview of evolutionary algorithms: practical issues and common pitfalls. *Information and Software Technology*, 43(14), pp. 817–831.
12. Vtogoff, P. E. (2009). Incremental Induction of Decision Trees. *Machine Learning*, (4), pp. 61–186.
13. Laver, V.O., Povkhan, I.F. (2019). Alhorytmy pobudovy lohichnykh derev klasyfikatsii v zadachakh rozpoznavannia obraziv [Algorithms for constructing logical classification trees in pattern recognition problems]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: tekhnichni nauky – Scientific notes of Tauride national University. Series: technical Sciences*, 30(69)(4), pp. 100–106.
14. Povhan, I. (2016). Designing of recognition system of discrete objects, *IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)* (pp. 226–231).
15. Povkhan, I. F. (2018). Problema funktsionalnoi otsinky navchalnoi vybirky v zadachakh rozpoznavannia dyskretnykh ob'ektiv [The problem of functional evaluation of the training sample in the problems of recognition of discrete objects]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: tekhnichni nauky – Scientific notes of Taurida national University. Series: technical Sciences*, 29(68)(6), pp. 217–222.
16. Mingers, J. (1989). An empirical comparison of pruning methods for decision tree induction. *Machine learning*, 4(2), pp. 227–243.
17. Subbotin, S. A. (2014). Methods and characteristics of locality-preserving transformations in the problems of computational intelligence. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), pp. 120–128.
18. Subbotin, S. A. (2013). Methods of sampling based on exhaustive and evolutionary search. *Automatic Control and Computer Sciences*, 47(3), pp. 113–121.
19. De Mántaras, R. L. (1991). A distance-based attribute selection measure for decision tree induction. *Machine learning*, 6(1), pp. 81–92.
20. Alpaydin, E. (2010). *Introduction to Machine Learning*. The MIT Press.
21. Painsky, A., Rosset, S. (2017). Cross-validated variable selection in tree-based methods improves predictive performance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(11), pp. 2142–2153.
22. Vasilenko, Y. A., Povkhan, I.F., Vashchuk, F.G. (2012). Zahalna otsinka minimizatsii derevopodibnykh lohichnykh struktur [General estimation of tree logical structures minimization]. *European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4(56)), pp. 29–33.
23. Povkhan, I. (2019). General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition of discrete objects. *Collection of scientific papers “electronics and information technology”*, 11, pp. 112–117.
24. What is the C4.5 algorithm and how does it work (2019). <https://towardsdatascience.com/what-is-the-c4-5-algorithm-and-how-does-it-work-2b971a9e7db0>.
25. C5.0 Classification Models (2020). <https://cran.r-project.org/web/packages/C50/vignettes/C5.0.html>.
26. C5.0 Decision Trees and Rule-Based Models (2020). <https://topepo.github.io/C5.0/reference/C5.0.html>.
27. C5.0 An Informal Tutorial (2020). <https://www.rulequest.com/see5-unix.html>.
28. Subbotin, S., Oliinyk, A. (2017). The dimensionality reduction methods based on computational intelligence in problems of object classification and diagnosis. In R. Szewczyk, M. Kaliczyńska, Eds., *Recent Advances in Systems, Control and Information Technology* (vol. 543, pp. 11–19). Springer (Advances in Intelligent Systems and Computing).

29. Subbotin, S. A. (2019). Random forest model building using a priori information for diagnosis. *CEUR Workshop Proceedings*, (23), pp. 962–973.

30. Dietterich, T. G. (2019). An experimental comparison of three methods for constructing ensembles of decision trees: bagging, boosting, and randomization. *Machine learning*, 40(2), pp. 139–157.

31. Kamiński, B., Jakubczyk, M., Szufel, P. (2017). A framework for sensitivity analysis of decision trees. *Central European Journal of Operations Research*, 26 (1), pp. 135–159.

UDC 004.8:004.89:519.7

Igor Povkhan

FEATURES OF SOFTWARE SOLUTIONS OF MODELS OF LOGICAL CLASSIFICATION TREES BASED ON SELECTION OF SETS OF ELEMENTARY FEATURES

Urgency of the research. Currently there are several independent approaches (concepts) to solve the classification problem in the general setting, and the development of various concepts, approaches, methods, and models that cover the general issues of the theory of artificial intelligence and information systems, all of these approaches in a recognition theory have their advantages and disadvantages and form a single tool to solve applied problems of the theory of artificial intelligence. This study will focus on the current concept of decision trees (classification trees). The general problem of software (algorithmic) construction of logical recognition trees (classification) is considered. The object of this research is logical classification trees (LCT structures). The subject of the research is actual methods and algorithmic schemes for constructing logical classification trees.

Target setting. The main existing methods and algorithms for working with arrays of discrete information in the construction of recognition functions (classifiers) do not allow you to achieve a predetermined level of accuracy (efficiency) of the classification system and regulate their complexity in the construction process. However, this disadvantage is absent in methods and schemes for building recognition systems based on the concept of logical classification trees (decision trees). That is, the coverage of the training sample the set of elementary signs in the case of LCT generates a fixed tree data structure (model LCT), which provides compression and conversion initial data TS, and therefore allows significant optimization and savings of hardware resources of the system, and is based on a single methodology – the optimal approximation test sample set of elementary features (attributes) that are included in some schema (operator) constructed in the learning process.

Actual scientific researches and issues analysis. The possibility of an effective and economical software (algorithmic) scheme for constructing a logical classification tree (LCT structure model) based on the source arrays of training samples (arrays of discrete information) of a large sample.

The research objective. Development of a simple and high-quality software method (algorithm and software system) for building models (structures) LCT for large arrays of initial samples by synthesizing minimal forms of classification and recognition trees that provide an effective approximation of educational information with a set of ranked elementary features (attributes) is created on the basis of a scheme for branched feature selection in a wide range of applied problems.

The statement of basic materials. We propose a general program scheme for constructing structures of logical classification trees, which for a given initial training sample builds a tree structure (classification model), which consists of a set of elementary features evaluated at each step of building the model for this sample. A method and ready-made software system build logic trees the main idea is to approximate the initial random sampling of the volume set of elementary features. This method provides the selection of the most informative (qualitative) elementary features from the source set when forming the current vertex of the logical tree (node). This approach allows to significantly reduce the size and complexity of the tree (the total number of branches and tiers of the structure) and improve the quality of its subsequent analysis.

Conclusions. The developed and proposed mathematical support for constructing LCT structures (classification tree models) allows it to be used for solving a wide range of practical problems of recognition and classification, and the prospects for further research may consist in creating a limited method of logical classification tree (LCT structures), which consists in maintaining the criterion for stopping the procedure for constructing a logical tree by the depth of the structure, optimizing its software implementations, as well as experimental studies of this method for a wider range of practical problems.

Keywords: tasks of recognition, classification tree, logical tree recognition algorithm, discrete object, elementary basis, extensive characteristic selection.

Fig.: 4. Table: 4. References: 31.

Повхан Ігор Федорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення систем, ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (вул. Заньковецької, 89Б, м. Ужгород, 88000, Україна).

Povkhan Igor – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Software, Uzhgorod National University (89B Zankovetska Str., 88000 Uzhgorod, Ukraine).

E-mail: igor.povkhan@uzhnu.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1681-3466>

УДК 323.266:004.9

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-91-95

Володимир Базилевич, Марія Прибителько

**СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ФЕЙКОВИХ НОВИН
ЗА ДОПОМОГОЮ DATA SCIENCE**

Актуальність теми дослідження. Великий об'єм інформації, що став традиційним для інформаційного суспільства, створює нові виклики для людства. На заміну проблемі складного доступу до інформації, що була актуальна раніше, приходять нова проблема: структуризації та фільтрування інформації. Серед загального потоку інформаційного шуму актуальним стає питання виокремлення правди. У цьому контексті важливим постає питання не лише розвитку критичного мислення, але й розробки технічних засобів виявлення фейків.

Постановка проблеми. Ця робота фокусується на понятті розробки системи виявлення фейкових новин, аналізі існуючих систем та їхніх принципів роботи, принципів побудови їхніх алгоритмів та особливостях їх використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, статистичні дані, звіти корпорації.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз файлу буде виконаний за допомогою трьох методів/класифікаторів і без використання *PassiveAgressive* класифікатора. Обчислення та виведення результатів виконується за допомогою побудови матриць помилок та розрахування точності.

Постановка задачі. Основною метою роботи є створення на основі розглянутих матеріалів систему виявлення фейкових новин та досягти найбільш можливої точності.

Виклад основного матеріалу. Обрано вхідні дані для дослідження, проведена їх підготовка та аналіз. Проведено дослідження даних за допомогою методів/класифікаторів Логістичної регресії, Дерева рішень та Рандомного лісу. Обчислена точність виявлення фейкових новин.

Висновки відповідно до статті. Запропонована система дозволяє класифікувати новини як «фейкові» або «правдиві» з точністю 98-99 %.

Ключові слова: фейк; фейкова новина; правдива новина; класифікатор.

Рис.: 6. Табл. 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. На сьогодні актуальним є завдання аналізу правдивості інформації в новинах, якими заповнені всі існуючі канали отримання інформації. Її актуальність пов'язана з необхідністю запобігання паніки через отримання недостовірної інформації, розвінчування псевдонаукових фактів, що можуть загрожувати життю людей, боротьба з політичною пропагандою та інші.

Постановка проблеми. Відтоді як термін «фейкові новини» потрапив у повне використання та став загальноновживаним у 2016 році, ми стали свідками раціонального поширення неправдивої інформації та способів її поширення. У цьому році глядачам і читачам довелося стикнутися з фальшивими відеороликами, що обули подані як дійсно правдиві, блогами, написаними анонімними «тролями», а також сумнівними теоріями, у які повірили навіть у Білому домі США. Це ще не кажучи про численні приклади помилкових або завідомо оманливих даних у ЗМІ або виступах всесвітньовідомих політиків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження цієї проблеми проводилися такими вченими та організаціями, як Filip Mishevski [1], data-flair [2] та інші.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У цій статті аналіз файлу буде виконаний за допомогою трьох методів/класифікаторів і без використання *PassiveAgressive* класифікатора. Обчислення та виведення результатів виконується за допомогою побудови матриць помилок та розрахування точності.

Постановка задачі. У статті проаналізована підготовка файлу до виявлення фейкових новин, робота з даними файлу. Реалізовано алгоритм виявлення фейкових новин.

Виклад основного матеріалу. «Фейкова новина» визначається як така, що «повністю складена і сфабрикована для обману читача, з метою збільшення трафіку і прибутку. Такі новини можна охарактеризувати як елемент інформаційної містифікації або навмишне поширення неправдивих фактів в онлайн- та традиційних медіа або ЗМІ з метою введення споживача в оману або отримання фінансової чи політичної вигоди» [3].

Ця робота фокусується на понятті розробки системи виявлення фейкових новин, аналізі існуючих систем та їхніх принципів роботи, принципів побудови їхніх алгоритмів та особливостях їх використання.

Для дослідження фейкових новин та отримання якомога точнішого результату потрібно мати досить великий обсяг вихідних даних. Причому чим більшу кількість новин вдасться проаналізувати, тим більшу точність результатів можна буде отримати. Серед чималої кількості варіантів був обраний сайт <https://www.kaggle.com/>, який надає можливість знайти багато сетів даних для майже будь-яких аналітичних потреб. У нашому випадку був обраний датасет «Fake and real news dataset» [4]. Цей набір даних складається із двох файлів Fake.csv та True.csv, які містять відповідно набір фейкових та набір правдивих новин. У датасеті використані новини, що були опубліковані з 31 березня 2015 року по 19 лютого 2018 року та з 13 січня 2016 року по 31 грудня 2018 року для файлів Fake.csv та True.csv відповідно.

Для зручності подальшого аналізу даних потрібно підготувати файл таким чином:

1. Додаємо лейбли “fake” та “true” для файлів.
2. Зливаємо обидва файли в один фінальний.
3. Перемішуємо дані, щоб отримати випадковий порядок новин у файлі.
4. Прибираємо колонки title та date, як такі, що не несуть цінності для дослідження.
5. Переводимо текст у lowercase.
6. Прибираємо пунктуацію.
7. Видаляємо “stopwords” (це такі слова, які не додають особливого значення реченню.

Вони можуть бути безпечно проігноровані без шкоди для змісту речення). Після виконання дій, описаних вище, файл можна вважати готовим для подальшого дослідження.

Перш ніж реалізувати алгоритм пошуку фейкових новин, проведемо первинний аналіз вмісту даних у файлі, адже важливо розуміти не лише з яким обсягом даних ми працюємо, а й з якими саме даними ми маємо справу.

Виведемо у вигляді стовпчастої діаграми кількість фейкових та правдивих новин. Для цього використаємо лейбли “true” та “false”, які були встановлені на початку роботи з файлом. Результат підрахунку представлений на рис. 1.

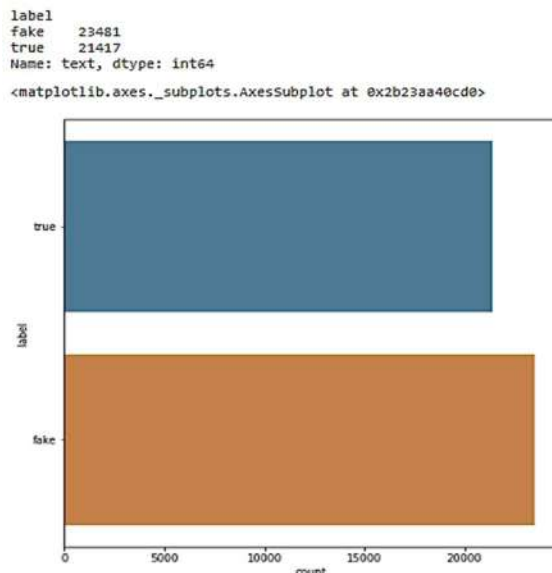


Рис. 1. Результат виведення кількості фейкових та правдивих новин

Виразуємо також точну кількість найбільш вживаних слів у фейкових та правдивих новинах і виведемо результат, як показано на рис. 2 та 3 відповідно.

Тепер можна зробити припущення про основну тему новин, що представлені у файлі, а також оцінити належність до певної географічної області (у нашому випадку країни) та опису дій певних груп населення (у нашому випадку можна побачити навіть конкретні прізвища).

Зробивши цей аналіз та розуміючи вміст файлу, можна переходити до створення алгоритму пошуку фейкових новин.

Процес моделювання складається з векторизації корпусу, що зберігається у стовпці «text», потім застосування TF-IDF (frequency-inverse document frequency) і, нарешті, алгоритму класифікації машинного навчання [5].

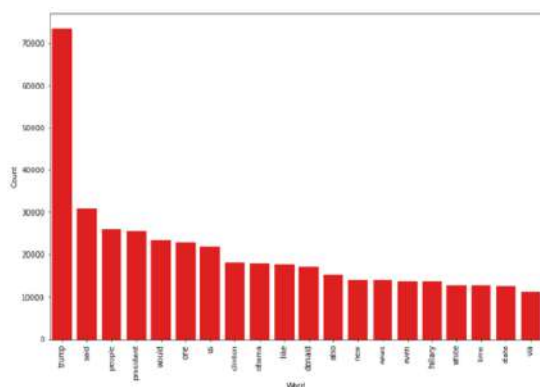


Рис. 2. Результат виведення кількості найбільш вживаних слів у фейкових новинах

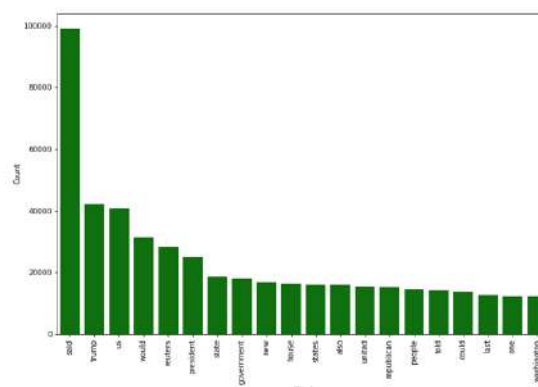


Рис. 3. Результат виведення кількості найбільш вживаних слів у правдивих новинах

Процес моделювання складається з векторизації корпусу, що зберігається у стовпці «text», потім застосування TF-IDF (frequency-inverse document frequency) і, нарешті, алгоритму класифікації машинного навчання [5].

У контексті цієї статті ми виділяємо три методи/класифікатори виявлення, а саме:

1. Логістична регресія.

Логістична регресія або (англ. *Logistic regression*) – це статистична модель, ої використовується для прогнозування ймовірності виникнення деякої події шляхом його порівняння з логістичною кривою. Ця регресія видає відповідь у вигляді ймовірності бінарної події (1 або 0) [6].

Основна ідея логістичної регресії полягає в тому, що простір вихідних значень може бути розділений лінійною границею (тобто прямою) на дві відповідних класам області [7].

2. Дерево рішень.

Дерево рішень – класифікатор, побудований на основі вирішальних правил виду «якщо, то», упорядкованих у деревоподібну ієрархічну структуру.

В основі роботи дерева рішень лежить процес рекурсивного розбиття вихідної безлічі об'єктів на підмножини, асоційовані з попередньо заданими класами. Розбиття проводиться за допомогою вирішальних правил, в яких здійснюється перевірка значень атрибутів за заданою умовою. Як навчальний набір даних використовується безліч спостережень, для яких попередньо задана мітка класу [8].

3. Рандомний(випадковий) ліс.

Випадковий ліс – один із найбільш приголомшливих алгоритмів машинного навчання, придуманий Лео Брейманом і Адель Катлер ще в минулому столітті. Він дійшов до нас у «первозданному вигляді» і є одним із небагатьох універсальних алгоритмів. Універсальність полягає, по-перше, в тому, що він хороший у багатьох завданнях, по-друге, в тому, що є випадкові ліса для вирішення завдань класифікації, регресії, кластеризації, пошуку аномалій, селекції ознак і т. ін. [9].

Побудуємо confusion matrix (матриці помилок) моделей для кожного із зазначених вище методів/класифікаторів [10]. На рис. 4 зображена матриця помилок для Логістичної регресії, на рис. 5 – для Дерева рішень та на рис. 6 – Рандомного лісу.

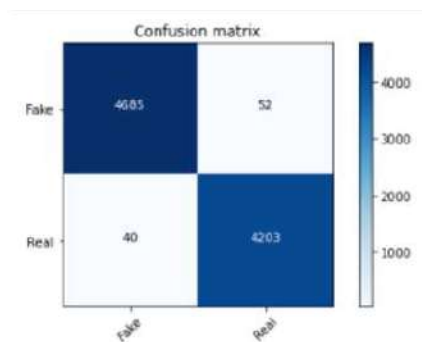


Рис. 4. Матриця помилок (Логістична регресія)

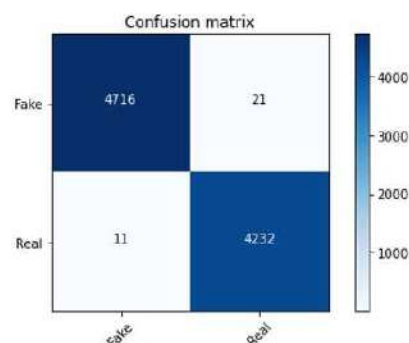


Рис. 5. Матриця помилок (Дерево рішень)

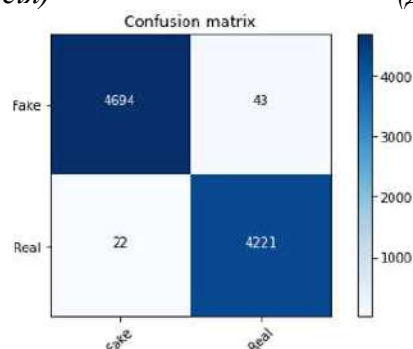


Рис. 6. Матриця помилок (Рандомний ліс)

Висновки відповідно до статті. Для зручності огляду, зробимо порівняльну таблицю отриманих результатів точності. Результат у вигляді можна побачити в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння результатів обчислення точності за різними методами

Назва методу	Отримана точність, %
Логістична регресія	98,98
Дерево рішень	99,64
Рандомний ліс	99,28

Отже, можемо зробити висновок, що результат виявлення фейкових новин за допомогою класифікатора Дерева рішень дав найбільший результат.

Список використаних джерел

- Mishevski F. Detecting Fake News With Python And Machine Learning. URL: <https://ichi.pro/ru/obnaruzhenie-fejkovyh-novostej-s-pomos-u-python-i-masinnogo-obucenia-272146875193862>.
- Detecting Fake News with Python. URL: <https://data-flair.training/blogs/advanced-python-project-detecting-fake-news>.
- Claire Wardle Fake news. It's complicated. URL: <https://firstdraftnews.org/latest/fake-news-complicated>.
- Fake and real news dataset. URL: <https://www.kaggle.com/clmentbisailon/fake-and-real-news-dataset>.
- TF-IDF. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tf%E2%80%93idf>.
- Logistic regression. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_regression
- Saishruthi Swaminathan Logistic Regression – Detailed Overview. URL: <https://towardsdatascience.com/logistic-regression-detailed-overview-46c4da4303bc>.
- Дерево рішень (Decision Trees) – Detailed Overview. URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/decision-trees.html>.
- Random forest. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest.
- Confusion matrix. URL: https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/model_selection/plot_confusion_matrix.html.

References

1. Mishevski F. Detecting Fake News With Python And Machine Learning. (n.d.). <https://ichi.pro/ru/obnaruzenie-fejkovyh-novostej-s-pomos-u-python-i-masinnogo-obucenia-272146875193862>.
2. Detecting Fake News with Python. (n.d.). <https://data-flair.training/blogs/advanced-python-project-detecting-fake-news>.
3. Claire Wardle Fake news. It's complicated. (n.d.). <https://firstdraftnews.org/latest/fake-news-complicated>.
4. Fake and real news dataset. (n.d.). <https://www.kaggle.com/clmentbisailon/fake-and-real-news-dataset>.
5. TF-IDF. (n.d.). <https://en.wikipedia.org/wiki/Tf%E2%80%93idf>.
6. Logistic regression. https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_regression
7. Saishruthi Swaminathan Logistic Regression – Detailed Overview. <https://towardsdatascience.com/logistic-regression-detailed-overview-46c4da4303bc>.
8. Дерево рішень (Decision Trees) – Detailed Overview. <https://wiki.loginom.ru/articles/decision-trees.html>.
9. Random forest. https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest.
10. Confusion matrix. (n.d.). https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/model_selection/plot_confusion_matrix.html.

UDC 323.266:004.9

Volodymyr Bazylevych, Maria Prybytko

FAKE NEWS DETECTION SYSTEM BASED ON DATA SCIENCE

Urgency of the research. Today, the task of analyzing the veracity of information in the news, which filled all existing channels for obtaining information, is relevant. Its urgency is related to the need to prevent panic by obtaining inaccurate information, debunking pseudo-scientific facts that can threaten people's lives, combating political propaganda and others.

Target setting This article focuses on the concept of developing a system for detecting fake news, analysis of existing systems and their principles of operation, principles of construction of their algorithms and features of their use.

Actual scientific researches and issues analysis. Recent open publications, statistics, and corporate reports were reviewed.

Uninvestigated parts of general matters defining. File analysis will be performed using three methods / classifiers and without the use of PassiveAgressive classifier. The calculation and derivation of results is performed by constructing error matrices and calculating accuracy.

The research objective. The main purpose of the work is to create a system for detecting fake news on the basis of the considered materials and to achieve the highest possible accuracy.

Presenting main material. Input data for the study were selected, prepared and analyzed. Data were studied using the methods / classifiers of Logistic Regression, Decision Tree and Random Forest. The accuracy of detecting fake news is calculated.

Conclusions. The proposed system allows to classify news as "fake" or "true" with an accuracy of 98-99 %.

Keywords: Python; fake; fake news; truthful news; classifier.

Fig.: 6. Table: 1. References: 10.

Базилевич Володимир Маркович – кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Bazylevych Volodymyr – PhD in Economics, Associate Professor, Head of the Department of Information and Computer Systems, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bazvlamar@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8935-446X>

ResearcherID: G-5764-2014

Scopus Author ID: 57193029322

Прийбитко Марія Дмитрівна – здобувачка вищої освіти, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Prybytko Maria – PhD student, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: prybytko.maria@gmail.com

УДК 004.056:351.861

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-96-108

Юлія Ткач

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ БЕЗПЕКИ КІБЕРПРОСТОРУ

Актуальність теми досліджень. Державні інформаційні ресурси й засоби здійснення електронних мережових транзакцій (сервери, маршрутизатори, сервери вилученого доступу, канали зв'язку, операційні системи, бази даних і додатки) потрібно захищати особливо надійно і якісно: ціна кожного «зламу» захисту швидко підвищується і цей ріст буде тривати в найближчому майбутньому.

Постановка проблеми. Забезпечення інформаційної безпеки мереж і систем обробки є пріоритетним завданням для керівництва держави, оскільки від збереження конфіденційності, цілісності й доступності державних інформаційних ресурсів багато в чому залежить якість та оперативність прийняття стратегічних рішень та ефективність їхньої реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на постійно зростаючу кількість публікацій, присвячених інформаційній безпеці, проблема забезпечення безпеки в кіберпросторі, особливо держави, залишається невирішеною.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в роботах вітчизняних та закордонних учених недостатньо уваги приділяється розробці систем та моделей кібербезпеки держави.

Постановка завдання. Метою статті є побудова концептуальної моделі безпеки в межах кіберпростору, що опише складові національної кібербезпеки та дозволить встановити силу зв'язку між відповідними її складовими, а також визначити рівень кібербезпеки.

Виклад основного матеріалу. З використанням діаграм Ейлера-Венна графічно представлено кіберпростір держави та на основі теорії множин запропоновано більш строгий опис моделі. У загальному вигляді концептуальна модель безпеки кіберпростору формується на основі трьох компонентів: особи, яка обробляє інформацію, володіє нею або здійснює її захист; нормативно-правові акти, які забезпечують юридичний захист інформації; інформаційні ресурси, у яких сконцентровано інформацію, що потребує захисту, і в межах яких функціонують засоби захисту інформації.

Висновки відповідно до статті. У статті побудована концептуальна модель безпеки держави, що описує складові кібербезпеки держави та дозволяє встановити силу зв'язку між відповідними її складовими, а також визначити рівень кібербезпеки.

Ключові слова: кіберпростір; концептуальна модель; інформаційна безпека держави; безпека інформації.

Рис.: 6. Табл.: 2. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження. Використання кіберпростору держави як глобальної публічної мережі означає для засобів безпеки об'єктів захисту не тільки різке збільшення кількості зовнішніх користувачів і розмаїтість типів комунікаційних зв'язків, але і співіснування з новими мережевими й інформаційними технологіями. Тому інформаційні ресурси й засоби здійснення електронних мережових транзакцій (сервери, маршрутизатори, сервери вилученого доступу, канали зв'язку, операційні системи, бази даних і додатки) потрібно захищати особливо надійно і якісно: ціна кожного «зламу» захисту швидко росте й цей ріст буде тривати в найближчому майбутньому.

Треба зазначити, що засоби зламу мереж і розкрадання інформації розвиваються так само швидко, як і всі високотехнологічні комп'ютерні галузі. У цих умовах забезпечення інформаційної безпеки кіберпростору є пріоритетним завданням для керівництва держави, оскільки від збереження конфіденційності, цілісності й доступності державних інформаційних ресурсів багато в чому залежить якість та оперативність прийняття стратегічних рішень і ефективність їхньої реалізації.

Постановка проблеми. Засоби зламу мереж і розкрадання інформації розвиваються так само швидко, як і всі високотехнологічні комп'ютерні галузі. У цих умовах забезпечення інформаційної безпеки мереж і систем обробки є пріоритетним завданням для керівництва держави, оскільки від збереження конфіденційності, цілісності й доступності державних інформаційних ресурсів багато в чому залежить якість та оперативність прийняття стратегічних рішень і ефективність їхньої реалізації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Значний внесок у розвиток теорії та практики побудови кіберпростору й забезпечення його захисту загалом зробили провідні закордонні та вітчизняні науковці, такі як К. Александер, К. Демчак, Лі Джанг, П. Домбровський, Л. Жанчевські, М. Каветлі, А. Клімбург, Ф. Крамер, Дж. Ліпман, Дж. Наямол, Г. Раттрей, С. Старр, Д. Шелдон, О. Адамов, С. Бондаренко, В. Бурячок, В. Бутузов, С. Гнатюк, О. Довгань, Д. Дубов, О. Климчук, О. Корченко, О. Мандзюк, О. Манжай, В. Панченко, В. Петров, В. Пилипчук, О. Потій, М. Присяжнюк, В. Фурашев, В. Хорощко, І. Храбан та інші.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в роботах вітчизняних та закордонних учених недостатньо уваги приділяється вивченню питання структури та складових кіберпростору, а також процесу забезпечення його безпеки.

Мета статті. Метою статті є побудова концептуальної моделі безпеки в межах кіберпростору, що опише складові національної кібербезпеки та дозволить встановити силу зв'язку між відповідними її складовими, а також визначити рівень кібербезпеки.

Виклад основного матеріалу. У проєкті Концепції інформаційної безпеки України [3], зазначено, що інформаційна безпека – це стан захищеності життєво важливих інтересів людини та громадянина, суспільства і держави, при якому запобігається завдання шкоди через неповноту, несвоєчасність і недостовірність поширюваної інформації, порушення цілісності та доступності інформації, несанкціонований обіг інформації з обмеженим доступом, а також через негативний інформаційно-психологічний вплив та умисне спричинення негативних наслідків застосування інформаційних технологій.

Отже, *інформаційна безпека держави* – це комплекс заходів державними органами влади в інформаційній сфері із запобігання порушення цілісності, конфіденційності та доступності інформації, тобто *кібербезпека держави* – система заходів державними органами влади в кіберпросторі, спрямованих на забезпечення стану захищеності державних інформаційних ресурсів.

Виокремлюють три рівні забезпечення інформаційної безпеки:

- рівень особи (формування раціонального, критичного мислення на основі принципів свободи вибору);
- суспільний рівень (формування якісного інформаційно-аналітичного простору, плюралізм, багатоканальність отримання інформації, незалежні потужні ЗМІ, які належать вітчизняним власникам);
- державний рівень (інформаційно-аналітичне забезпечення діяльності державних органів, інформаційне забезпечення внутрішньої і зовнішньої політики на міждержавному рівні, система захисту інформації з обмеженим доступом, протидія правопорушенням в інформаційній сфері, комп'ютерним злочинам) [4].

На підставі раніше викладеного сформулюємо підходи до реалізації захисних заходів щодо забезпечення безпеки інформації в кіберпросторі, що на сьогодні має вигляд трьохетапної моделі (рис. 1).



Рис. 1. Трьохетапна модель реалізації захисних заходів щодо забезпечення безпеки інформації в кіберпросторі

Однак наявність відомих підходів до реалізації захисних заходів не вирішує в повному обсязі проблеми ЗІ. Це пов'язано з відсутністю концептуальних моделей захисту, розробка яких на етапах реалізації СЗІ дозволить впроваджувати вищенаведені захисні заходи.

На рис. 2-3 наведено варіанти концептуальних моделей як особи, так і інформаційних ресурсів, які розроблені з урахуванням вже існуючих на сьогодні моделей [2].

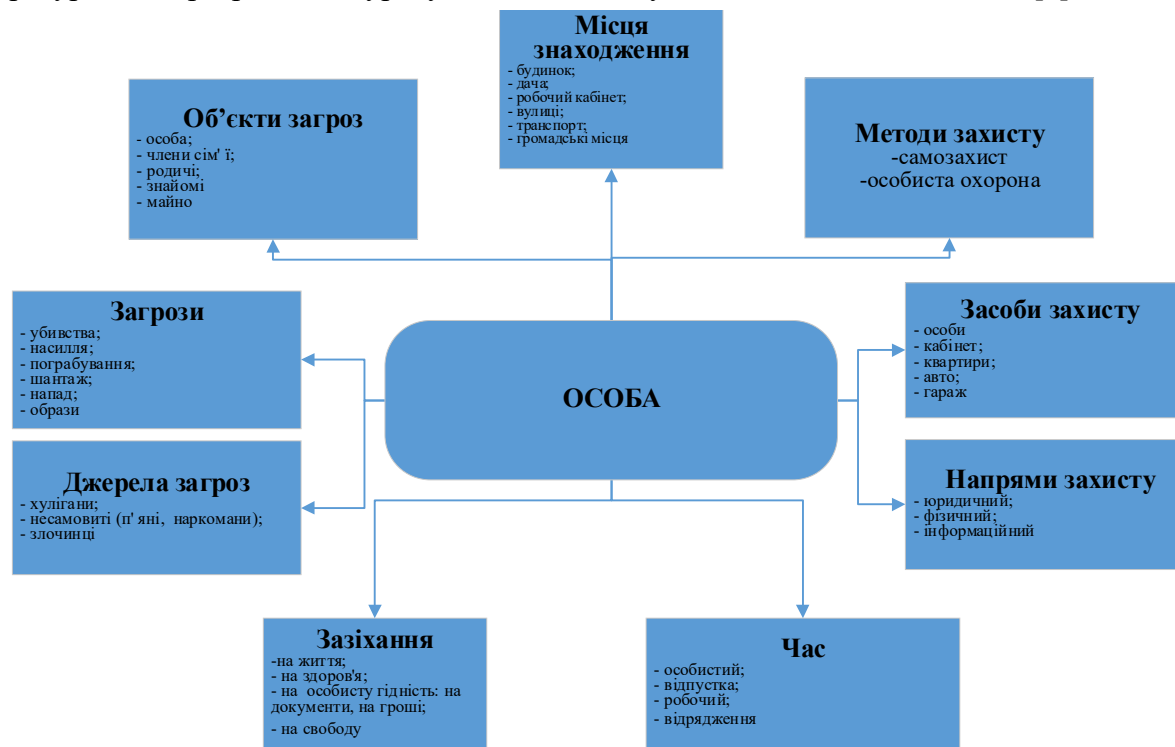


Рис. 2. Концептуальна модель безпеки особи

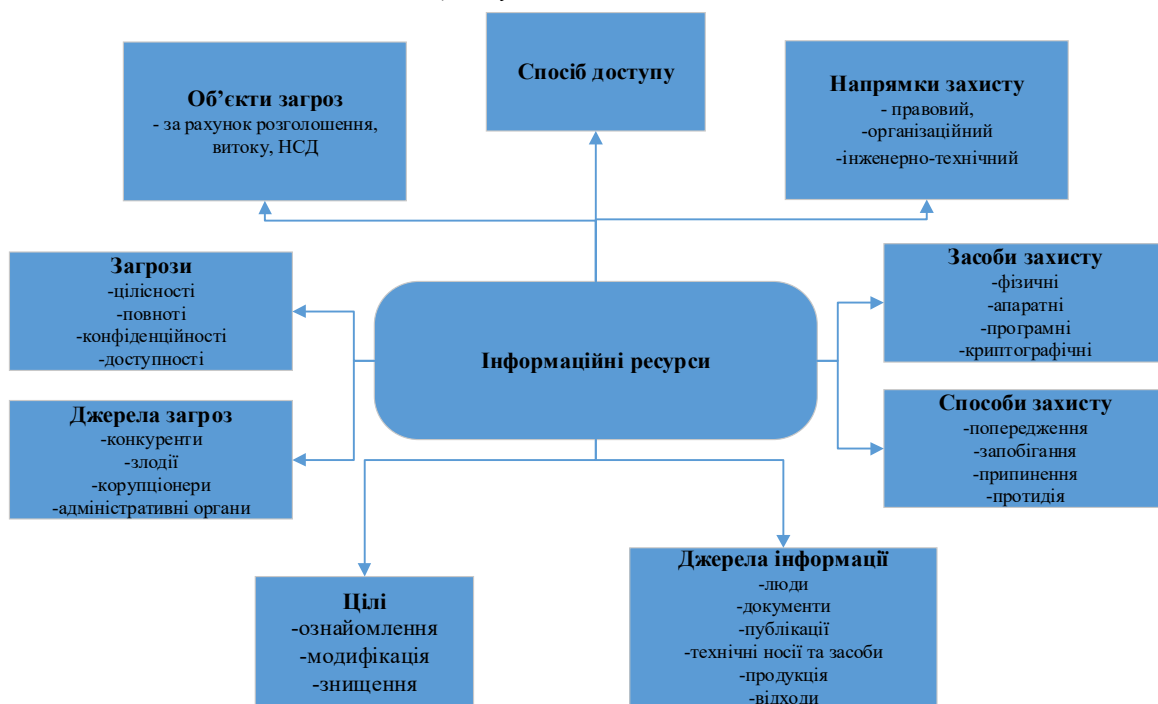


Рис. 3. Концептуальна модель безпеки інформаційних ресурсів

Важливим з погляду безпеки держави є її нормативно-правове забезпечення. Пропонуємо схематичне представлення концептуальної моделі нормативно-правової безпеки держави (рис. 4).

Проаналізувавши концептуальні моделі (рис. 2–4) можна дійти висновку, що основою їх є інформація. Отже, можна стверджувати, що при будь-якому розгляді питань керування будь-якою діяльністю центральне місце посідає інформація.

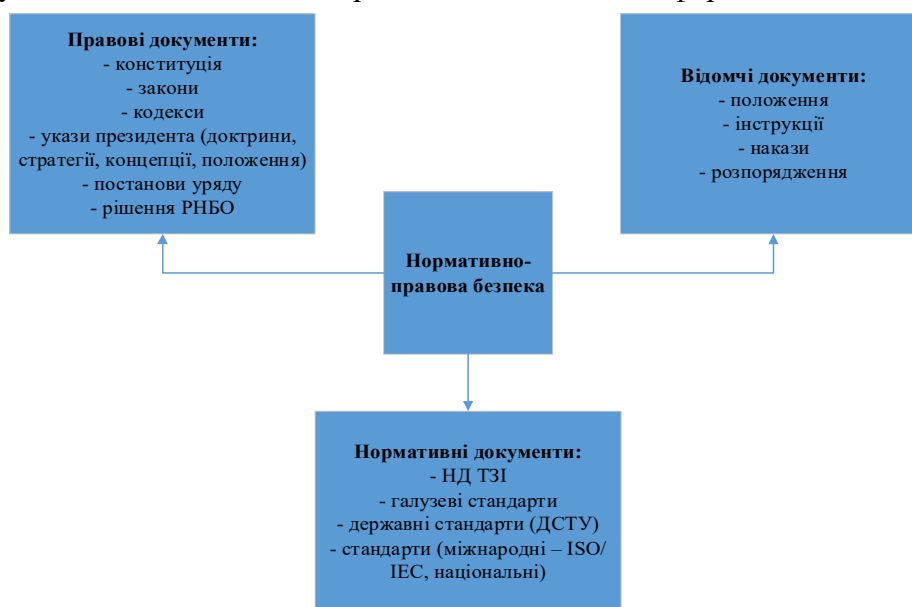


Рис. 4. Концептуальна модель нормативно-правової безпеки держави

Згідно із Законом України «Про інформацію» інформація – будь-які відомості та/або дані, які можуть бути збережені на матеріальних носіях або відображені в електронному вигляді [6] інформація тлумачиться як повідомлення про щось, доведення до відома чогось; відомості про навколишній світ, процеси, які в ньому відбуваються, про події, ситуації, чийсь діяльність.

Інформаційні ресурси в Законі України «Про національну програму інформатизації» [7] визначаються як сукупність документів в інформаційних системах (бібліотеках, архівах, банках даних тощо).

У Розпорядженні Про схвалення Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні інформаційні ресурси означаються як систематизована інформація або знання, що мають цінність у певній предметній області й можуть бути використані людиною у своїй діяльності для досягнення певної мети [8].

Під інформаційним ресурсом розуміємо сукупність інформації та її носіїв, інформаційних технологій та інформаційної інфраструктури. Інформаційні ресурси можуть бути поділені на дві групи: державні інформаційні ресурси та недержавні інформаційні ресурси. Недержавні інформаційні ресурси, орієнтовані на пересічного користувача. У своїй роботі ми зосередимо увагу на захисті державних інформаційних ресурсів.

Отже, державний інформаційний ресурс є частиною інформаційних ресурсів загалом. Державні інформаційні ресурси – це результати інтелектуальної та практичної діяльності, що сформовані в усіх сферах життєдіяльності людини, суспільства і держави, зафіксовані й систематизовані на відповідних матеріальних носіях інформації як окремі документи і масиви документів, банки і бази даних та знань, усі види архівів і бібліотек, музейні фонди, інформаційні ресурси, які обробляються та передаються в інформаційних системах державного і/або загального призначення, інші ресурси, що містять дані, відомості та знання, які є об'єктом права власності держави незалежно від форми власності

на час їх створення і мають споживчу цінність, а також такі, що призначені для розвитку і задоволення потреб громадян, суспільства, держави та підлягають захисту відповідно до визначеної політики безпеки й чинного законодавства [14].

До державних інформаційних ресурсів висувуються вимоги щодо актуальності та достовірності наведених у них даних; вичерпної повноти інформаційних джерел; компактності викладу; оперативності пошуку. Державні інформаційні ресурси мають типову структуру: обов'язкову – основну частину і вихідні дані; факультативну – довідково-бібліографічний апарат і додаткову інформацію [5].

Оскільки під суспільним рівнем інформаційної безпеки розуміється формування якісного інформаційно-аналітичного простору, існування незалежних потужних вітчизняних ЗМІ, то в сукупності концептуальна модель безпеки особи та інформаційних ресурсів являтиме собою модель безпеки суспільства (рис. 5). Для наочного представлення цієї моделі ми використали діаграми Ейлера-Венна.

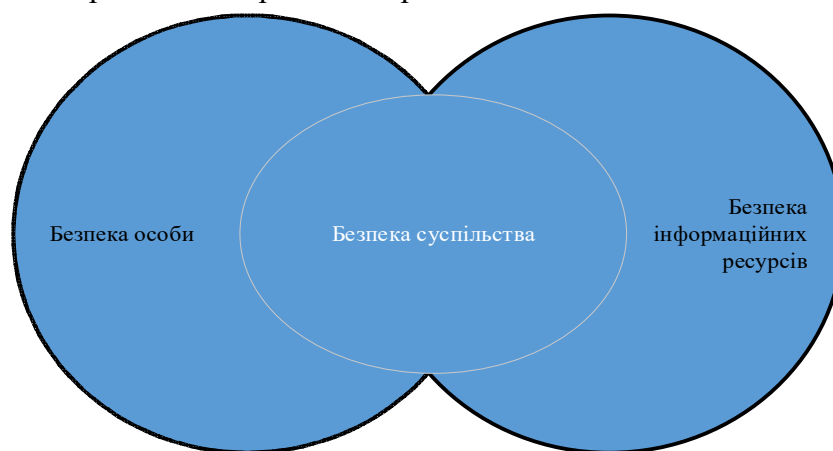


Рис. 5. Концептуальна модель безпеки суспільства

З огляду на вже зібраний і проаналізований фактичний матеріал щодо концептуальних моделей безпеки побудуємо концептуальну модель безпеки держави в межах кіберпростору. Метою її побудови є дослідження кіберпростору держави, визначення його складових і взаємозв'язків між ними та окреслення напрямів покращення його функціонування.

Запропонована нами модель є концептуальною, оскільки їй притаманні характеристики, властиві моделям такого виду, зокрема, складається з низки взаємопов'язаних понять, що використовуються для опису кіберпростору держави, поєднує концепцію користувача й розробника моделі, включає в явному виді логіку, обмеження, умови існування. Формалізований опис моделі дає можливість виокремити умови функціонування об'єкта, визначені характером взаємодії між об'єктом і його оточенням, а також між елементами об'єкта керування об'єктом та визначення складу керованих змінних об'єкта.

З погляду забезпечення безпеки в кіберпросторі, відповідну концептуальну модель можна представити діаграмами Ейлера-Венна (рис. 6).

Розглянемо на основі теорії множин більш строгий опис такої моделі.

До формування множини елементів моделі безпеки держави в межах кіберпростору (K_i) необхідно залучити експертів із множини $E = \{\cup_{j=1}^n E_j\} = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, $E_j \subseteq E$ ($j = \overline{1, n}$), n – кількість експертів, E_j – експерти у сфері кібербезпеки. Ці експерти формують відповідні множини.

Множина безпеки особи: $O = \{\cup_{k=1}^m O_k\} = \{O_1, O_2, \dots, O_m\}$, $O_k \subseteq O$ ($k = \overline{1, m}$), m – кількість елементів, що характеризують множину, O_k – сформовані експертами у сфері кібербезпеки характеристики елементів множини (можуть описуватись як текстовим повідомленням, так і представлятись у вигляді кількісних показників).

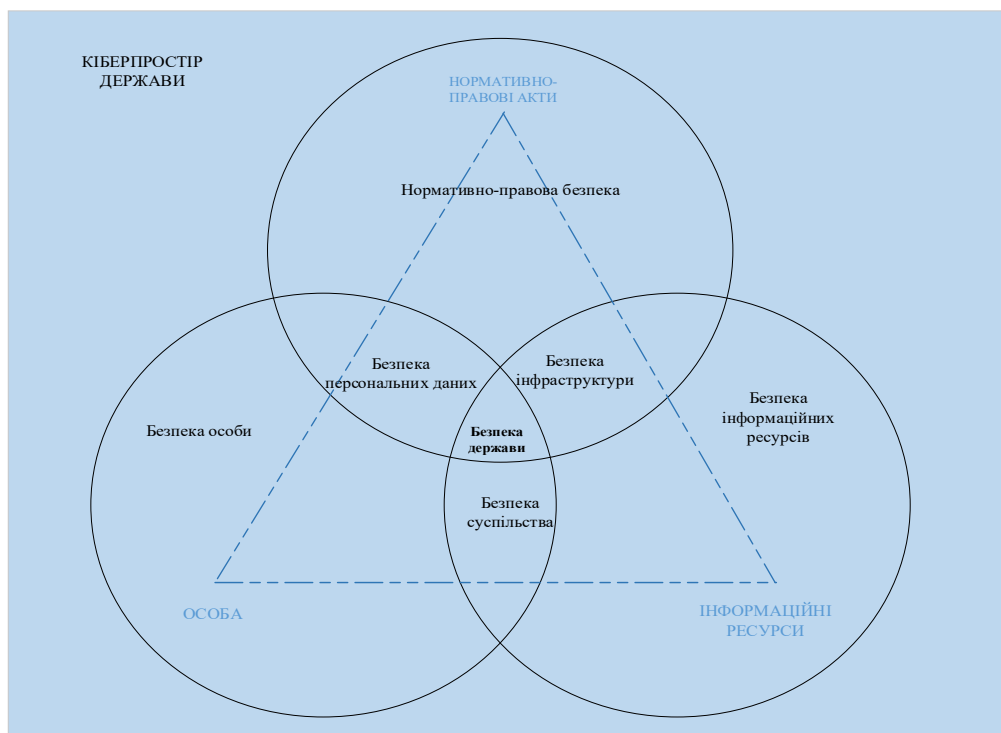


Рис. 6. Концептуальна модель безпеки держави в межах кіберпростору

Множина безпеки інформаційних ресурсів: $IP = \{ \bigcup_{l=1}^p IP_l \} = \{ IP_1, IP_2, \dots, IP_p \}$, $IP_l \subseteq IP (l = \overline{1, p})$, p – кількість елементів, що характеризують множину, IP_l – сформовані експертами у сфері кібербезпеки характеристики елементів множини (можуть описуватись як текстовим повідомленням, так і представлятись у вигляді кількісних показників).

Множина нормативно-правової безпеки: $NB = \{ \bigcup_{f=1}^z NB_f \} = \{ NB_1, NB_2, \dots, NB_z \}$, $NB_f \subseteq NB (f = \overline{1, z})$, z – кількість елементів, що характеризують множину, NB_f – сформовані експертами у сфері кібербезпеки характеристики елементів множини (можуть описуватись як текстовим повідомленням, так і представлятись у вигляді кількісних показників).

Також, згідно з рис. 6, маємо три перерізи по дві множини. Як наслідок, утворюються підмножини, а саме:

- безпека персональних даних: $BP = (O \cap NB) = \{ bp | bp \in O \wedge bp \in NB \}$;
- безпека інформаційної структури: $BI = (IP \cap NB) = \{ bi | bi \in IP \wedge bi \in NB \}$;
- безпека суспільства: $BS = (O \cap IP) = \{ bs | bs \in O \wedge bs \in IP \}$.

Підмножина безпеки персональних даних: $BP = \{ \bigcup_{h=1}^g BP_h \} = \{ BP_1, BP_2, \dots, BP_g \}$, $BP_h \subseteq BP (h = \overline{1, g})$, g – кількість елементів, що характеризують множину, BP_h – сформовані експертами у сфері кібербезпеки характеристики елементів множини (можуть описуватись як текстовим повідомленням, так і представлятись у вигляді кількісних показників).

Підмножина безпеки суспільства: $BS = \{ \bigcup_{j=1}^w BS_j \} = \{ BS_1, BS_2, \dots, BS_w \}$, $BS_j \subseteq BS (j = \overline{1, w})$, w – кількість елементів, що характеризують множину, BS_j – сформовані експертами у сфері кібербезпеки характеристики елементів множини (можуть описуватись як текстовим повідомленням, так і представлятись у вигляді кількісних показників).

Підмножина безпеки інфраструктури: $BI = \{ \bigcup_{u=1}^q BI_u \} = \{ BI_1, BI_2, \dots, BI_q \}$, $BI_u \subseteq BI (u = \overline{1, q})$, q – кількість елементів, що характеризують множину, BI_u – сформовані експертами у сфері кібербезпеки характеристики елементів множини (можуть описуватись як текстовим повідомленням, так і представлятись у вигляді кількісних показників).

У результаті перерізу трьох множин O , IP , NB ми отримаємо множину елементів кібербезпеки держави:

$$D = (O \cap IP \cap NB) = \{d_j | d_j \in O \wedge d_j \in IP \wedge d_j \in NB: j = \overline{1, x}: x = a + b + c\}, \quad (1)$$

де x – кількість елементів множини D , a, b, c – кількість елементів кожної з множини O_k, IP_l, NB_f відповідно, що потрапили до перерізу D .

Формування національної кібербезпеки T відбувається як об'єднання складових елементів, що входять до моделей безпеки особи, інформаційних ресурсів та нормативно-правової безпеки

$$\begin{aligned} (T = (O \cup IP \cup NB) = \\ = \{t_i | t_i \in O \wedge t_i \in IP \wedge t_i \in NB: i = \overline{1, y}: y = m + p + z - g - q - w + x\}): \\ T = \begin{pmatrix} O_1 & O_2 & \dots & O_k \\ IP_1 & IP_2 & \dots & IP_l \\ NB_1 & NB_2 & \dots & NB_f \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

Оскільки кількість елементів кожної з підмножини O, IP, NB множини T може бути різною, то в цьому випадку треба доповнити рядки до найбільшої розмірності відповідною кількістю, наприклад, одиниць.

Оцінку цінності кожного елемента зазначеної вище множині можна провести за методикою Сааті. Для цього необхідно розглянути скінчену множину елементів альтернатив $D = \{d_1 d_2 \dots d_x\}$. Порівняти довільні два елементи d_s та d_k на предмет встановлення факту, який з елементів переважає над іншим та в скільки разів, а потім визначити переваги елементів використовуючи шкалу відносної важливості об'єктів за Сааті (табл. 1) [10].

Таблиця 1

Шкала відносної важливості об'єктів за Сааті

Визначення	Ступінь важливості
об'єкти рівноцінні	1
один об'єкт дещо переважає над іншим	3
один об'єкт краще за інший	5
один об'єкт значно краще за інший	7
один об'єкт абсолютно кращий	9
проміжні судження про об'єкти	2,4,6,8

Експерти за шкалою (табл. 1) здійснюють попарні порівняння. У результаті отримаємо матрицю $A = \|a_{ij}\|_{(m \times m)}$, кожний елемент якої a_{ij} являє собою оцінку відносної переваги об'єкта d_s порівняно з елементом d_k ($k, s = \overline{1, m}: x = a + b + c$).

Припустимо, що (w_1, \dots, w_m) – набір істинних відносних цінностей кожного з елементів множини D . У випадку, якщо відповіді експертів ($a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$) узгоджуються, то справджуються такі властивості.

Властивість 1. $a_{ij} = 1, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ для всіх $i, j = \overline{1, m}$, тобто якщо елемент d_s кращий за

d_k у $\alpha > 1$ раз, то тоді цінність об'єкта d_k становить $1/\alpha$ цінності об'єкта d_s .

Властивість 2. У випадку повної узгодженості $A = \begin{pmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_m \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_m \end{pmatrix}$.

Вектор $(w_1, \dots, w_m)^T$ є власним вектором матриці A , а m є власним числом цієї матриці.

Далі обчислимо відносні цінності елементів, для яких λ_{\max} (де m – найбільше власне число матриці A). Отже, чим ближче λ_{\max} , тим краще узгодженими між собою є відповіді експертів. Індекс узгодженості

$$J_p = \frac{\lambda_{\max}}{m-1}. \quad (3)$$

Значення J_p порівнюють з еталонними J_e (табл. 2) [10].

Таблиця 2

Еталонні значення показника узгодженості залежно від кількості об'єктів, що порівнюються

Кількість об'єктів	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
J_e	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Якщо $J_p \leq 0,1J_e$, то результати опитування експертів задовільні.

Обчислення показника відносної цінності елементів здійснюється для кожного рядка матриці A за формулою:

$$w_i = \frac{\sqrt[m]{a_{i1} \dots a_{im}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt[m]{a_{i1} \dots a_{im}}}, i = \overline{1, m}. \tag{4}$$

Останнім кроком є аналіз експертами отриманих результатів та прийняття рішень.

Важливим елементом для нашої моделі є встановлення сили зв'язку між відповідними множинами та їхніми елементами та прогнозування можливих впливів на кібербезпеку держави. Для цього необхідно розрахувати коефіцієнт кореляції та побудувати регресійне рівняння.

Лінійний коефіцієнт парної кореляції r_{xy} досліджує щільність зв'язку між явищ, що вивчаються ($-1 \leq r_{xy} \leq 1$):

$$r_{xy} = \frac{\frac{1}{n} \sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\overline{yx} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2) \cdot (\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}. \tag{5}$$

Коефіцієнт кореляції має такі властивості:

1) він приймає значення на відрізку $[-1; 1]$, тобто $-1 \leq r \leq 1$. Чим ближче $|r|$ до 1, тим тісніше кореляційний зв'язок.

2) при $|r| = 1$ кореляційний зв'язок стає функціональним. При цьому всі спостережувані значення лежать на одній лінії.

3) при $r = 0$ кореляційний зв'язок відсутній та лінія регресії паралельна осі x .

При $r > 0$ ($b_1 > 0$) кореляційний зв'язок називається *прямим*, а при $r < 0$ ($b_1 < 0$) кореляційний зв'язок називається *зворотним*. У результаті отримаємо матрицю коефіцієнтів парної кореляції:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{y1} & r_{y2} & \dots & r_{yk} \\ r_{1y} & 1 & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{2y} & r_{k2} & 1 & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{ky} & r_{k1} & r_{k2} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \tag{6}$$

Ця матриця є симетричною, тобто коефіцієнти кореляції між результуючою змінною y – безпекою держави та факторною ознакою x_j – елементи перерізу D рівні між собою ($r_{yj} = r_{jy}$, $j = \overline{1, k}$), коефіцієнти кореляції між i -м та j -м факторами теж рівні ($r_{ij} = r_{ji}$, $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, k}$).

Якщо значення коефіцієнта парної кореляції між факторами наближене до одиниці, то це свідчить про тісний зв'язок між ними. У цьому випадку один із факторів необхідно вилучити з розгляду, тобто не враховувати під час побудови рівняння регресії (бажано залишити фактор, який є вагомим з погляду експертів або той, що сильніше корелює з результуючою змінною y).

Оскільки на безпеку держави впливають багато факторів, то в цьому випадку маємо справу з множинною (багатофакторною) лінійною моделлю (регресією), що описує взаєм-

ний зв'язок між залежною змінною y (безпека держави) та факторами x_1, x_2, \dots, x_m (елементи перерізу D) і яку можна подати у такому вигляді: $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m, \varepsilon)$, де y – залежна (результуюча) змінна; $x_j, (j = \overline{1, m})$ – незалежні змінні; ε – стохастична складова.

Аналітична форма цієї моделі може бути різною залежно від сутності зв'язків. Найбільш поширена форма залежності – лінійна: $Y = b_0 + b_1 \cdot x_i + e_i$, де b_0 – вільний член, який визначає значення y_i за умови, коли значення факторів дорівнюють нулеві; x_{ij} ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$) – значення X_j -го фактору при i -му спостереженні; b_j ($j = \overline{1, m}$) – теоретичні коефіцієнти регресії (часткові коефіцієнти) або параметри теоретичної регресії, які характеризують реакцію залежної змінної y_i ($i = \overline{1, n}$) на зміну кожного фактору X_j ($j = \overline{1, m}$); ε_i – випадковий збудник при i -му спостереженні.

Для однозначного визначення параметрів b_j моделі необхідно, щоб виконувалась нерівність $n \geq m + 1$, де n – число спостережень; m – число факторів у моделі.

У векторно-матричній формі теоретичну модель можна подати так: $\vec{Y} = X \cdot \vec{A} + \vec{\varepsilon}$, де

$$\vec{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}, \vec{A} = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_j \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}, \vec{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_i \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Іншими формами залежності можуть бути:

- 1) $Y = b_0 + b_1 X$ – лінійна;
- 2) $Y = b_0 X^{b_1}$ – степевна;
- 3) $Y = b_0 \cdot b_1^X$ – показникова;
- 4) $Y = b_0 + \frac{b_1}{X}$ – гіперболічна та інші, де b_0, b_1 – невідомі параметри моделі.

Неважко переконатись, що наведені нелінійні форми залежності за допомогою елементарних перетворень приводяться до лінійних.

Зауважимо, що між факторними ознаками може виникнути явище мультиколінеарності, тобто висока залежність (корельованість) різних факторів.

Для виявлення мультиколінеарності можна використати критерій (алгоритм) Феррара-Глобера. Цей алгоритм має три види статистичних критеріїв, згідно з якими перевіряється мультиколінеарність усього масиву незалежних змінних (χ^2 – «хі»-квадрат); кожної незалежної змінної з рештою змінних (F -критерій); кожної пари незалежних змінних (t -критерій).

За наявності мультиколінеарності факторів доцільно звернути увагу і на специфікацію моделі. Іноді заміна однієї функції іншою, не суперечить інформації, дозволяє усунути мультиколінеарність.

У випадку моделей із великою кількістю факторів, коли не вдається позбутися мультиколінеарності, параметри моделі оцінюють не методом найменших квадратів, а методом головних компонент.

Оскільки факторні ознаки, які включаються в модель, можуть бути в різних одиницях вимірювання, то необхідно проводити стандартизацію (нормалізацію) змінних. Елементи стандартизованих векторів розрахуємо за формулою:

$$X_{ik}^* = \frac{X_{ik} - \bar{X}_k}{\sqrt{n \sigma_{X_k}^2}}, \quad (8)$$

де n – число спостережень, m – число незалежних змінних, $i = \overline{1, n}$, $k = \overline{1, m}$, \bar{X}_k – середня арифметична k -ї незалежної змінної, $\sigma_{X_k}^2$ – дисперсія k -ї незалежної змінної.

Перш ніж визначити істинні значення параметрів, ми можемо визначити рівень національної кібербезпеки, а саме, якщо отримане значення результуючої $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m, \varepsilon)$ перебуває в межах від 0 до 1, чим ближче до 1, тим рівень безпеки вище. При цьому будемо вважати, що 0-0,3 рівень безпеки *неприйнятний*; 0,3-0,7 – *низький*; 0,7-1 – *достатній*.

Істинні оцінки параметрів моделі визначаються за формулами:

$$b_1 = b_1^* \times \left(\frac{\sigma_Y}{\sigma_{X_1}} \right), b_2 = b_2^* \times \left(\frac{\sigma_Y}{\sigma_{X_2}} \right), b_3 = b_3^* \times \left(\frac{\sigma_Y}{\sigma_{X_3}} \right), \dots, b_n = b_n^* \times \left(\frac{\sigma_Y}{\sigma_{X_n}} \right);$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 - b_3 \bar{X}_3 + \dots + b_n \bar{X}_n. \quad (9)$$

Обов'язковим є перевірка множинної лінійної моделі на точність (якість). Загальну якість рівняння регресії оцінюють через розрахунок *коефіцієнта детермінації*.

Коефіцієнт детермінації показує, яка частина зміни залежної змінної зумовлена зміною незалежного фактору ($0 \leq R^2 \leq 1$). Чим ближче R^2 до 1, тим краще рівняння регресії наближає (апроксимує) експериментальні дані. У випадку парної регресії $R^2 = r^2$, де r – коефіцієнт кореляції. Коефіцієнт детермінації обчислюється за формулою:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (10)$$

Середня похибка апроксимації – середнє відносне відхилення розрахункових значень від фактичних:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%. \quad (11)$$

Побудоване рівняння регресії вважається задовільним, якщо значення \bar{A} не перевищує 10-12 %.

Чим вищий показник детермінації або чим менша середня похибка апроксимації, тим краще побудована модель описує вихідні дані.

Оцінка значущості всього рівняння регресії загалом здійснюється за допомогою F -критерію Фішера. F -критерій Фішера полягає в тому, що проводиться перевірка гіпотези H_0 про статистичну значущість рівняння регресії. Для цього виконується порівняння фактичного $F_{\text{факт}}$ та табличного (критичного) $F_{\text{табл}}$ значень F -критерія Фішера. $F_{\text{факт}}$ визначається за формулою:

$$F_{\text{факт}} = \frac{\frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{m}}{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-m-1}} = \frac{r_{xy}^2}{1-r_{xy}^2} \cdot \frac{n-m-1}{m}, \quad (12)$$

де n – кількість одиниць сукупності, m – кількість параметрів при змінних (для лінійної регресії $m = 1$). Для нелінійної регресії замість r_{xy}^2 використовують R^2 .

$F_{\text{табл}}$ – максимально можливе значення критерію під впливом випадкових факторів при ступенях вільності $k_1 = m$, $k_2 = n-m-1$ та рівні значущості α . Рівень значущості α – ймовірність відкинути правильну гіпотезу за умови, що вона є правильна. Зазвичай α надають значення 0,05 або 0,01. Це означає, що у 5 або 1 % випадків ми можемо помилитися, а у 95 або 99 % випадків (рівень довіри) наші висновки будуть правильними.

Якщо $F_{\text{табл}} < F_{\text{факт}}$, то гіпотеза H_0 відхиляється та визнається статистична значимість та надійність рівняння регресії.

Якщо $F_{\text{табл}} > F_{\text{факт}}$, то гіпотеза H_0 не відхиляється та визнається статистична незначимість та ненадійність рівняння регресії.

Для оцінки статистичної значущості коефіцієнтів лінійної регресії та лінійного коефіцієнта парної кореляції r_{xy} застосовують також t -критерій Стьюдента та розраховують довірчі інтервали кожного з показників. t -критерій Стьюдента полягає у тому, що висувається гіпотеза H_0 про випадкову природу показників, тобто про незначне їх відхилення від нуля. Фактичне значення критерія $t_{\text{факт}}$ для коефіцієнтів регресії та коефіцієнта кореляції r_{xy} розраховується шляхом співставлення їхніх значень із величиною стандартної похибки:

$$t_{b_0} = \frac{b_0}{m_{b_0}}; t_{b_1} = \frac{b_1}{m_{b_1}}; t_r = \frac{r_{xy}}{m_{r_{xy}}}. \quad (13)$$

Стандартні похибки обчислюється за формулами:

$$m_{b_1} = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}; m_{b_0} = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2} \cdot \frac{\sum x_i^2}{n \sum(x_i - \bar{x})^2}}; m_{r_{xy}} = \sqrt{\frac{1-r_{xy}^2}{n-2}}. \quad (14)$$

Порівнюючи фактичне та табличне значення для t -критерія роблять відповідні висновки. $t_{табл}$ – максимально можливе значення критерія під впливом випадкових факторів для $k = n-2$ ступенів вільності та рівні значущості α .

Якщо $t_{табл} < t_{факт}$, то гіпотеза H_0 відхиляється (тобто коефіцієнти рівняння регресії та коефіцієнт кореляції r_{xy} не випадково відмінні від нуля та сформовані під впливом систематично діючого фактору x).

Якщо $t_{табл} > t_{факт}$, то гіпотеза H_0 не відхиляється та визнається випадкова природа формування b_0 , b_1 та r_{xy} .

Довірчі інтервали

Довірчі інтервали визначають межі, в яких лежать точні значення визначених показників, із заданим ступенем достовірності.

Для розрахунку довірчих інтервалів для параметрів b_0 та b_1 рівняння лінійної регресії визначають граничну похибку Δ для кожного показника:

$$\Delta_{b_0} = t_{табл} \cdot m_{b_0}; \Delta_{b_1} = t_{табл} \cdot m_{b_1}. \quad (15)$$

$t_{табл}$ – це табличне значення t -критерію Стьюдента для $k = n - 2$ ступенів вільності та заданого рівня значущості α .

Тоді довірчі інтервали обчислюються:

$$\gamma_{b_0} = b_0 \pm \Delta_{b_0}; \gamma_{b_1} = b_1 \pm \Delta_{b_1}. \quad (16)$$

Якщо в межі довірчого інтервалу потрапляє нуль (тобто нижня границя від'ємна, а верхня – додатна), то параметр, що оцінюється, приймається за нуль.

Висновки відповідно до статті. Отже, у загальному вигляді концептуальна модель безпеки кіберпростору формується на основі трьох компонентів: *особа*, яка обробляє інформацію, володіє нею або здійснює її захист; *нормативно-правові акти*, які забезпечують юридичний захист інформації; *інформаційні ресурси*, у яких сконцентровано інформацію, що потребує захисту і в межах яких функціонують засоби захисту інформації.

Список використаних джерел

1. Безпека життєдіяльності: навчальні матеріали он-лайн. URL: https://pidru4niki.com/85484/bzhd/tsikava_informatsiya.
2. Концептуальные вопросы защиты информации. URL: https://www.google.com/search?q=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F+%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C+%D0%B7%D0%B0%D1%89%D0%B8%D1%82%D1%8B+%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8&rlz=1C1SQJL_enUA890UA890&sxsrf=ALeKk03qyNTXuFj6XQwdUCKQmanlrQwEWw:1589031719240&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=qVMgT6wY08z3yM%253A%252CAYMudVgt__OzKM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kR42qyP1rSdiJfxnasMXu26g6SjRg&sa=X&ved=2ahUKEwj10aW59KbpAhXBo4sKHWzdBp8Q9QEwAHoECAkQAw#imgrc=2Ljpf2cnn3HIkM.
3. Концепція інформаційної безпеки України : проєкт. URL: [http://mip.gov.ua/files/banners/Final%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%97%20\(%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82\)%20-%2030.09.15.pdf](http://mip.gov.ua/files/banners/Final%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%97%20(%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82)%20-%2030.09.15.pdf).

4. Кузьменко А. М. Особливості проблем законодавчого забезпечення інформаційної безпеки держави, суспільства і громадянина в умовах інформаційно-психологічного протидіювання. *Часопис Київського університету права*. 2010. № 4. С. 317-321.
5. Приймак Ю. Ю. Національні інформаційні ресурси – джерело державних інформаційних продуктів та послуг. *Державне управління: теорія та практика*. 2009. № 2. URL: www.academy.gov.ua/ej/ej10/doc_pdf/Priymak.pdf.
6. Про інформацію: Закон України від 2 жовтня 1992 року № 2658-XII. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2657-12/ed20110106>.
7. Про Національну програму інформатизації: Закон України від 04.02.1998 № 74/98-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 27-28. С. 181.
8. Про схвалення Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні: Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 15.05.2013 № 386-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/386-2013-%D1%80/ed20130515#n21>.
9. Синенко М. А., Ткач Ю. М. Математична модель методів активного захисту інформації. *Технічні науки та технології*. 2020. № 2 (20). С. 109-115.
10. Скітер І. С., Ткаленко Н. В., Трунова О. В. Математичні методи прийняття управлінських рішень. Чернівці: ЧДПУ, 2011. 247 с.
11. Ткач Ю. М. Моделі систем захисту інформаційної сфери держави. *Сучасна спеціальна техніка*. 2020. № 2 (61). С. 59–66.
12. Ткач Ю. М. О розвитку кіберпространства и его защищенности. *Безпека ресурсів інформаційних систем: збірник тез I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернівці 16-17 квітня 2020 р.)*. Чернівці: НУ «Чернівецька політехніка», 2020. С. 173–177.
13. Ткач Ю. М. Тенденції розвитку сучасного кіберпростору та його захищеності в умовах інформаційного протидіювання. *Безпека інформації*. 2020. Т. 26(2). С. 74–80.
14. Юдін О. К., Бучик С. С. Концептуальний аналіз уразливості державних інформаційних ресурсів. *Наукоємні технології. Технічні науки*. 2013. № 3(19). С. 299–304.

References

1. Life safety: educational materials online [Bezpeka zhyttiediialnosti: navchalni materialy online]. https://pidru4niki.com/85484/bzhd/tsikava_informatsiya.
2. Conceptual issues of information security. https://www.google.com/search?q=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F+%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C+%D0%B7%D0%B0%D1%89%D0%B8%D1%82%D1%8B+%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8&rlz=1C1SQJL_enUA890UA890&sxsrf=ALeKk03qyNTXuFj6XQwdUCKQmanlrQwEWw:1589031719240&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=qVMgT6wY08z3yM%253A%252CAYMUdVgt_OzKM%252C_&vet=1&usg=AI4_kR42qyP1rSdiJfxnasMXu26g6SjRg&sa=X&ved=2ahUKEwj10aW59KbpAhXBo4sKHWzdBp8Q9QEwAHoECAkQAw#imgrc=2Ljpf2cnn3HikM.
3. The concept of information security of Ukraine: project. [http://mip.gov.ua/files/banners/Final%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%97%20\(%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82\)%20-%2030.09.15.pdf](http://mip.gov.ua/files/banners/Final%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%97%20(%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82)%20-%2030.09.15.pdf).
4. Kuzmenko, A. M. (2010). Osoblyvosti problem zakonodavchoho zabezpechennia informatsiinoi bezpeky derzhavy, suspilstva i hromadianyna v umovakh informatsiino-psykholohichnoho protyborstva [Features of problems of legislative maintenance of information security of the state, society and the citizen in the conditions of information and psychological confrontation]. *Chasopys Kyivskoho universytetu prava – Journal of Kyiv University of Law*, (4), pp. 317–321.
5. Pryimak, Yu. Iu. (2009). Natsionalni informatsiini resursy – dzherelo derzhavnykh informatsiinykh produktiv ta posluh [National information resources are a source of state information products and services]. *Derzhavne upravlinnia: teoriia ta praktyka – Public administration: theory and practice*, (2). www.academy.gov.ua/ej/ej10/doc_pdf/Priymak.pdf.
6. Pro informatsiiu [On Information], Law of Ukraine № 2658-XII (October 2, 1992). <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2657-12/ed20110106>.

7. Pro Natsionalnu prohramu informatyzatsii [On the National Informatization Program], Law of Ukraine № 74/98-BP (on February 4, 1998). *Information of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (27-28), p. 181.

8. Pro skhvalennia Stratehii rozvytku informatsiinoho suspilstva v Ukraini [On approval of the Information Society Development Strategy in Ukraine], Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine; Strategy № 386-p (May 15, 2013). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/386-2013-%D1%80/ed20130515#n21>.

9. Synenko M. A., Tkach Yu. M. (2020). Mathematical model of methods of active protection of information. *Technical sciences and technologies: scientific journal*, 2(20), pp. 109-115.

10. Skiter, I. S., Tkalenko, N. V., Trunova, O. V. (2011). *Matematychni metody pryiniattia upravlynskykh rishen [Mathematical methods of managerial decision making]*. ChDIEU.

11. Tkach, Yu. M. (2020). Modeli system zakhystu informatsiynoyi sfery derzhavy [Models of information protection systems of the state]. *Suchasna spetsialna tekhnika – Modern special equipment*, 2(61), pp. 59-66.

12. Tkach Yu. M. (2020). O razvitii kiberprostranstva i ego zashchishchennosti [On the development of cyberspace and its security]. *Bezpeka resursiv informatsiinykh system : zbirnyk tez I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Security of resources of information systems: collection of abstracts of the I International scientific-practical conference* (pp. 173-177).

13. Tkach, Yu. M. (2020). Tendentsiyi rozvytku suchasnoho kiberprostoru ta yoho zakhyshchenosti v umovakh informatsiynoho protyborstva [Trends in the development of modern cyberspace and its security in the context of information confrontation]. *Bezpeka informatsii – Information security*, 26(2), pp. 74-80.

14. Yudin, O. K., Buchyk, S. S. (2013). Kontseptualnyi analiz urazlyvosti derzhavnykh informatsiinykh resursiv [Conceptual analysis of vulnerability of state information resources]. *Naukoiemni tekhnologii – Science-intensive technologies. Technical sciences*, (3(19)), pp. 299–304.

UDC 004.056:351.861

Yuliia Tkach

CONCEPTUAL MODEL OF CYBER SPACE SECURITY

Urgency of the research. Public information resources and means of electronic network transactions (servers, routers, remote access servers, communication channels, operating systems, databases and applications) must be protected reliably and efficiently: the price of each "break" of protection is growing rapidly and this growth will continue in the near future.

Target setting. Ensuring information security of networks and processing systems is a priority for the state leadership, as the quality and efficiency of strategic decision-making and the effectiveness of their implementation largely depend on maintaining the confidentiality, integrity and availability of state information resources.

Actual scientific researches and issues analysis. Despite the ever-increasing number of publications on information security, the problem of security in cyberspace, especially a state one, remains unresolved.

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, in the works of domestic and foreign scientists, insufficient attention is paid to the development of systems and models of cybersecurity of the state.

The research objective. The aim of the article is to build a conceptual model of security within cyberspace, which will describe the components of national cybersecurity and will establish the strength of the connection between its relevant components, as well as determine the level of cybersecurity.

The statement of basic materials. Using Euler-Venn diagrams, the cyberspace of the state is graphically represented and a more rigorous description of the model is proposed on the basis of set theory. In general, the conceptual model of cybersecurity is formed on the basis of three components: a person who processes information, owns it or protects it; regulations that provide legal protection of information; information resources, where the information in need of protection is concentrated, and within which means of information protection function.

Conclusions. The article builds a conceptual model of state security, which describes the components of cybersecurity of the state and allows to establish the strength of the connection between its relevant components, as well as to determine the level of cybersecurity.

Keywords: cyberspace; conceptual model; information security of the state; information security.

Fig.: 6. Table: 2. References: 14.

Ткач Юлія Миколаївна – доктор педагогічних наук, професор, завкафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Tkach Yuliia – Doctor of Pedagogical Science, Professor, Head of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: tkachym79@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8565-0525>

SCOPUS Author ID: 57193026076

УДК 004.62

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-109-117

Андрій Роговенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЧИСЛЮВАЧІВ ПРИСКОРЕНОГО ОБЧИСЛЕННЯ ДАНИХ ЗБІЛЬШЕНОЇ РОЗРЯДНОСТІ НА ОСНОВІ ОДНОВИМІРНОГО КАСКАДУ КОНСТРУКТИВНИХ МОДУЛІВ

Актуальність теми дослідження. Дослідження обчислювачів обчислення даних збільшеної розрядності та врахування впливу методів їх опису, при реалізації в базисі ПЛІС, дозволить збільшити швидкість обробки даних та ефективніше використати ресурси ПЛІС.

Постановка проблеми. Прискорення процесу обчислення даних збільшеної розрядності висуває додаткові вимоги до реалізації елементів обчислювальних систем та обчислювальних систем загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Швидкість обчислень даних збільшеної розрядності, які використовуються в базисі ПЛІС, залежать від методів їх опису, але ці методи також впливають на апаратні витрати.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутні теоретичні й експериментальні дослідження обчислювачів збільшеної розрядності для обчислень операцій за модулем на основі одновимірних каскадів конструктивних модулів у базисі ПЛІС.

Постановка завдання. Метою роботи є опис та дослідження обчислювачів складних операцій за модулем над даними збільшеної розрядності в базисі ПЛІС.

Виклад основного матеріалу. Обчислювачі складних операцій за модулем збільшеної розрядності описані методом функціонального опису за допомогою стандартних операторів VHDL та методом структурного опису у вигляді одновимірних каскадів конструктивних модулів. Залежності швидкодії та апаратних витрат від розрядності визначені експериментальним шляхом, з урахуванням внутрішньої будови конкретного сімейства ПЛІС для кожного з методів опису.

Висновки відповідно до статті. Використання методу функціонального опису типовими інструментальними засобами в базисі ПЛІС не дає змогу врахувати особливості алгоритмів обробки даних великої розрядності, що приводить до надлишковості у апаратних витратах. Запропонований метод структурного опису з використанням одновимірних каскадів конструктивних модулів мовою опису апаратури, демонструє кращі результати та дає змогу більш гнучко підходити до використання апаратних ресурсів ПЛІС.

Зменшення апаратних витрат на реалізацію засобів обчислення даних збільшеної розрядності в межах конкретної ПЛІС, за рахунок вивільнення додаткових ресурсів дає змогу збільшити розрядність даних, що обробляються, без додаткових витрат на заміну апаратного забезпечення при загальному збільшенні продуктивності обчислювального елемента або системи.

Ключові слова: одновимірний каскад конструктивних модулів; ПЛІС; арифметичні операції за модулем; VHDL; функціональний опис; багаторозрядні дані; комбінаційна логіка.

Рис.: 10. Табл.: 2. Бібл.: 6.

Актуальність теми дослідження. Операції за змінним модулем є одними з найбільш поширених арифметичних операцій, які вимагають проведення обчислень над даними з великою розрядністю, оскільки основними галузями їх використання є системи цифрової обробки сигналів, криптографічні системи, відмовостійкі системи, спеціалізовані обчислювачі, що побудовані на основі апарату модулярних обчислень.

Постановка проблеми. Основною з головних вимог, що висуваються до таких пристроїв, є збільшення швидкодії при помірних апаратних витратах. Одним із напрямів підвищення швидкодії багаторозрядного обчислювального пристрою є використання прискорених методів та алгоритмів обчислення. А при реалізації цих обчислювальних пристроїв у базисі ПЛІС швидкодія буде залежати також і від методу опису.

Метод опису обчислювального пристрою в базисі ПЛІС, крім швидкодії, суттєво впливає і на апаратні витрати. Навіть при дуже гарних результатах роботи пристрою за критерієм швидкодії, витрати на апаратну реалізацію можуть виявитись недопустимими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх роботах детально розглядається метод опису обчислювальних елементів операцій додавання за модулем на основі одновимірних каскадів конструктивних модулів [1; 2], який побудований на основі конструктивного модуля [3]. На основі операції додавання за модулем були запропоновані реалізації інших складніших арифметичних операцій за модулем, таких як множення та піднесення до степеня [4].

Раніше проведені дослідження суматорів за модулем демонструють достатню швидкість при невеликих апаратних витратах у обчислювальних пристроях, побудованих на основі одновимірних каскадів конструктивних модулів [5]. Для оцінки ефективності пристроїв, які обчислюють більш складні операції за модулем, необхідно провести дослідження впливу збільшення розрядності пристрою на швидкість з урахуванням апаратних витрат.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутні теоретичні й експериментальні дослідження обчислювачів збільшеної розрядності для обчислень операцій за модулем на основі одновимірних каскадів конструктивних модулів у базисі ПЛІС.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження апаратних витрат та швидкості обчислювальних пристроїв, які складаються із суматорів на основі одновимірних каскадів конструктивних модулів при збільшенні розрядності даних що обробляються. А також порівняння отриманих результатів із результатами дослідження пристроїв, описаних методом функціонального опису мовою VHDL.

Виклад основного матеріалу. У ролі обчислювальних пристроїв для дослідження обрані пристрій множення за модулем та пристрій підведення до степеня за модулем, які будуються на основі суматорів.

Типова реалізація обчислювачів передбачає використання методу функціонального опису мовою VHDL та базується на основі стандартних операторів цієї мови [6].

Наприклад, пристрій множення за модулем описується за допомогою бінарного оператора множення та оператору mod:

```
AmB <= std_logic_vector(unsigned(A) * unsigned(B));
R <= std_logic_vector(unsigned(AmB) mod unsigned(P)).
```

Тут AmB – це проміжний сигнал множення двох операндів, розрядність яких дорівнює подвоєній розрядності операнду.

Опис сигналів має такий вигляд:

```
signal A,P,B,R : std_logic_vector(N - 1 downto 0);
signal AmB : std_logic_vector(N*2 - 1 downto 0);
```

Для завантаження вхідних даних та реєстрації результату була запропонована структура обчислювача, що наведена на рис. 1.

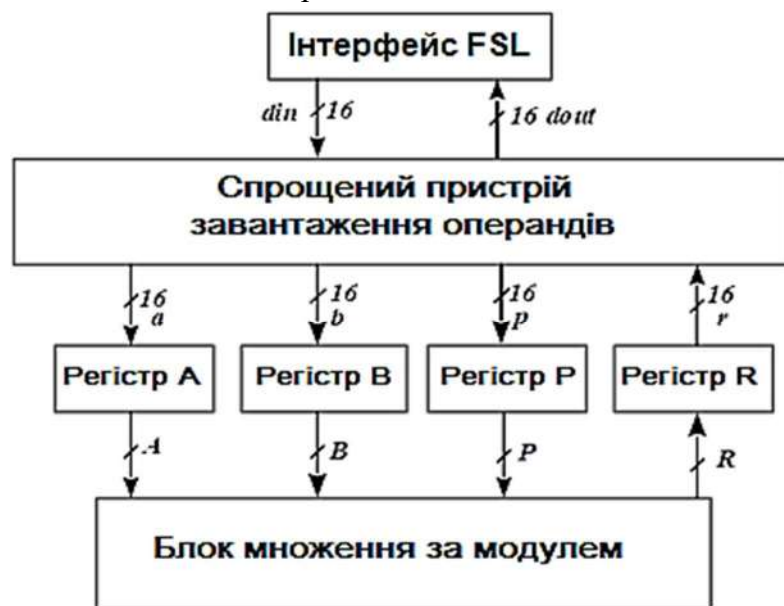


Рис. 1. Структура пристрою множення за модулем, яка описана методом функціонального опису мовою VHDL

Крім блока множення, дослідний пристрій складається зі спрощеного пристрою завантаження, який забезпечує узгодження з інтерфейсом FSL, та регістрів вводу/виводу. Алгоритм роботи спрощеного пристрою завантаження операндів представлений на рис. 2.

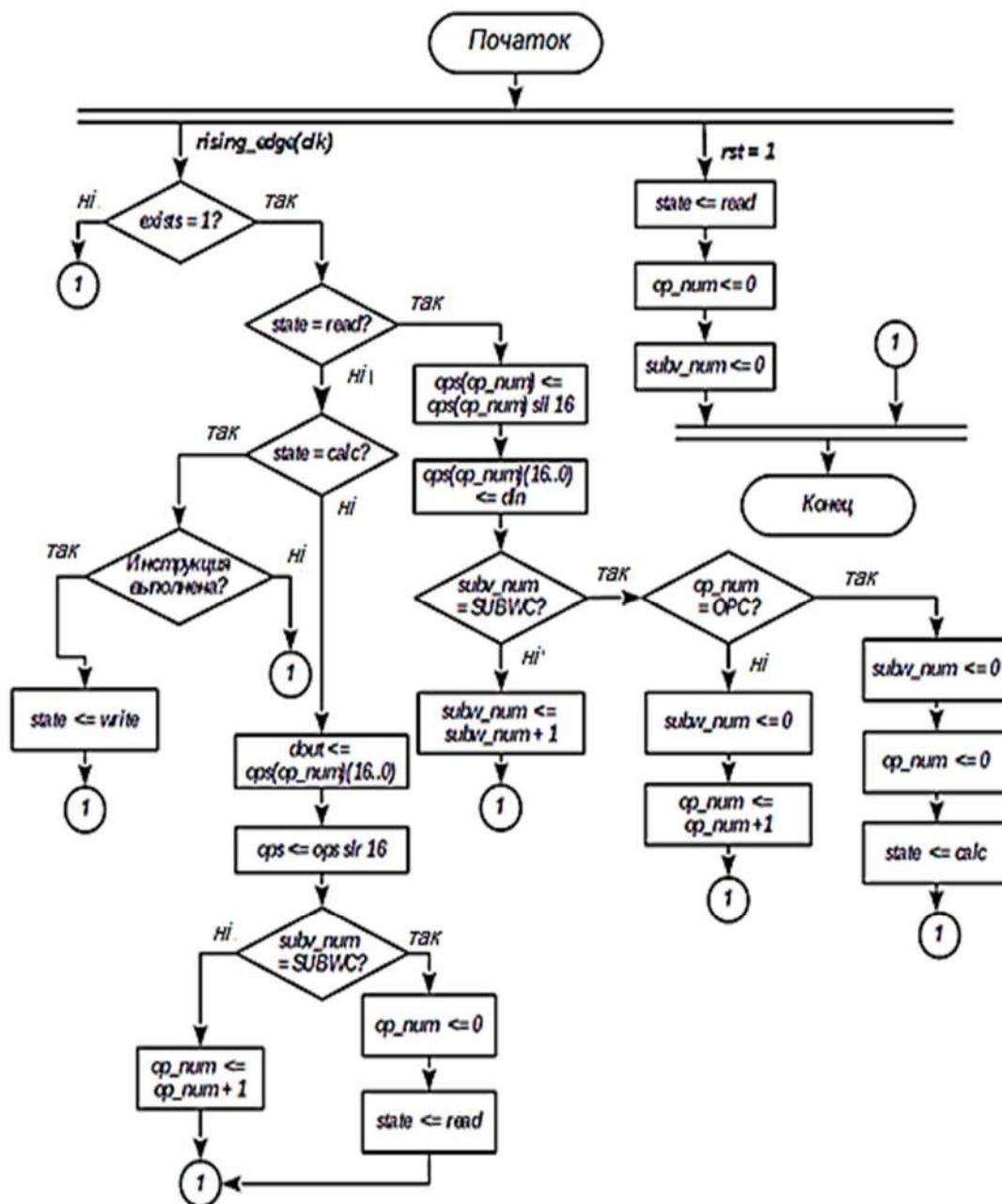


Рис. 2. Схема алгоритму роботи спрощеного пристрою завантаження операндів

Для дослідження множення на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів побудована аналогічна схема, але операція додавання за модулем буде виконуватись окремим багаторозрядним суматором за модулем. Це дозволяє реалізувати алгоритм множення, що запропонований на рис. 3.

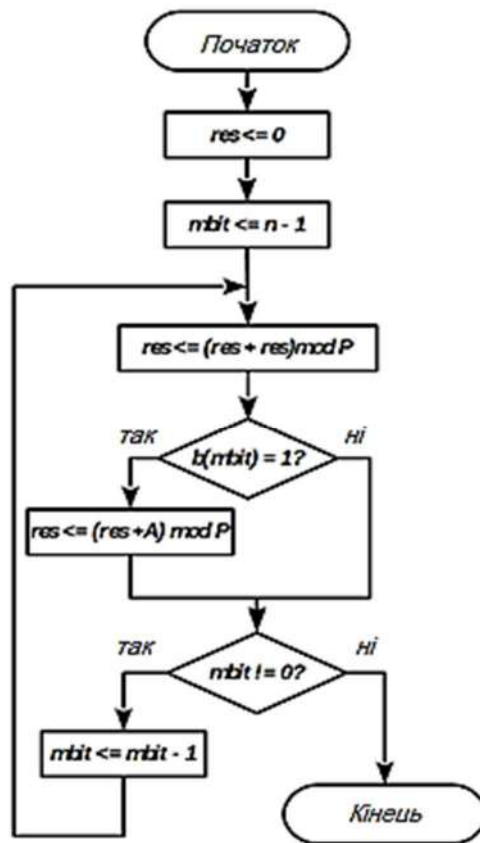


Рис. 3. Схема алгоритму роботи блоку множення на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів

З урахуванням особливостей алгоритму та інтерфейсу суматора запропонована структура пристрою множення за модулем, яка представлена на рис. 4, з якого видно, що інтерфейсна частина пристрою відповідає інтерфейсній частині з першого досліджу (рис. 1). Таким чином, її впливом на загальну кількість ресурсів можна в подальшому знехтувати.

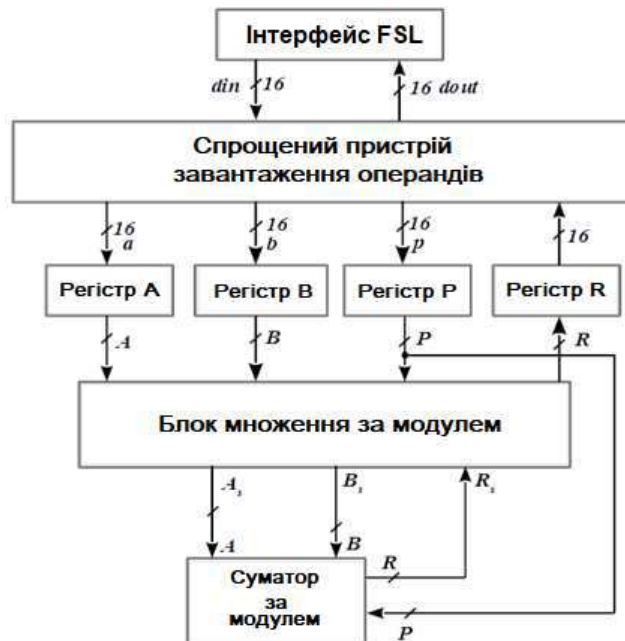


Рис. 4. Структура пристрою множення на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів

Досліди проводились із вхідними даними з розрядністю від 16 до 1024. Результати експериментальних обчислень наведені в табл. 1 та 2, а також проілюстровані у вигляді функцій, зображені на рис. 5 та 6.

Таблиця 1

Результати експериментів із пристроєм множення за модулем, який описаний методом функціонального опису мовою VHDL

Розрядність	Кількість LUT	Кількість Slice	Затримка, нс
16	1611	549	106,385
32	6325	1796	243,701
48	14273	3826	387,603
64	25164	6619	540,669
80	38890	10090	704,07
96	56152	15075	876,24

Таблиця 2

Результати експериментів із пристроєм множення за модулем, який описаний методом на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів

Розрядність	Кількість LUT	Кількість Slice	Затримка, нс
128	1755	592	11177,216
256	3480	1276	32699,392
384	5252	1881	64521,984
512	6491	2317	107351,04
640	8078	2854	159002,88
768	9272	3630	222587,904
896	10968	4305	295778,56
1024	14056	5438	379039,744

Табличні дані для першого опису з використанням операторів VHDL наведені лише для розрядів до 96. Подальше збільшення розрядності вхідних даних обмежувалось ресурсами ПЛІС, що використовувалась у дослідях, і неспроможністю інструментів синтезу виконати імплементацію проекту.

Для порівняння результатів при розрядності понад 96 з результатами методу функціонального опису мовою VHDL була побудована аналітична функція, що отримана за допомогою методу найменших квадратів, тому що отримання практичних значень обмежилось можливістю апаратури.

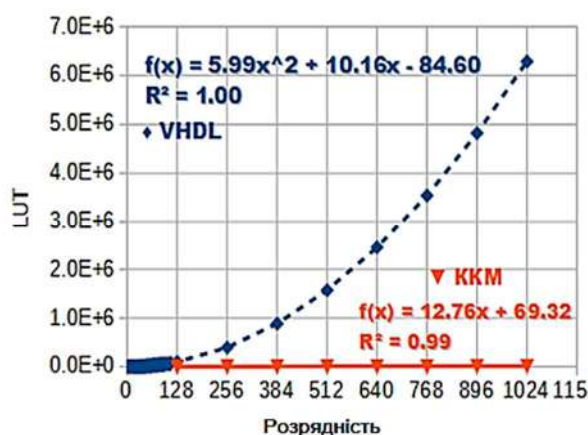


Рис. 5. Залежність кількості LUT від розрядності

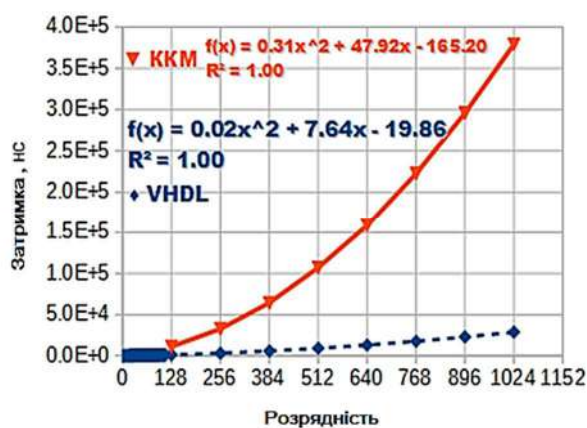


Рис. 6. Залежність затримки від розрядності

Оскільки стандартний оператор піднесення до степеня мовою VHDL не підтримує роботу із сигналами, реалізація цієї операції виконана на основі операції множення за алгоритмом, наведеним на рис. 7.

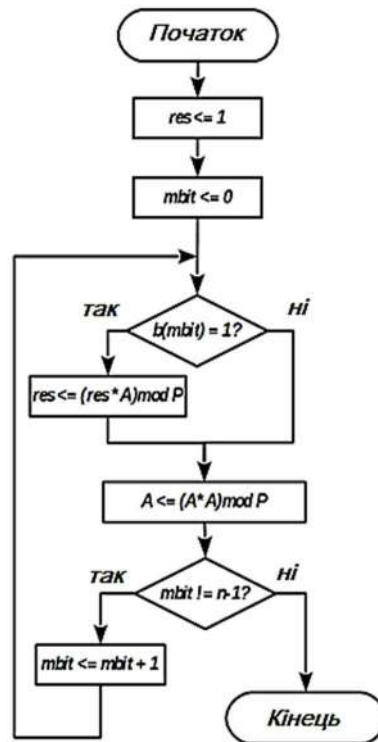


Рис. 7. Схема алгоритму піднесення до степеню за змінним модулем

З урахуванням особливостей алгоритму запропонована структура пристрою піднесення до степеню за модулем, яка представлена на рис. 8.



Рис. 8. Структура пристрою піднесення до степеня на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів

Досліди проводились із вхідними даними з розрядністю від 16 до 1024. Результати експериментальних обчислень проілюстровані у вигляді функцій на рис. 9 та 10.

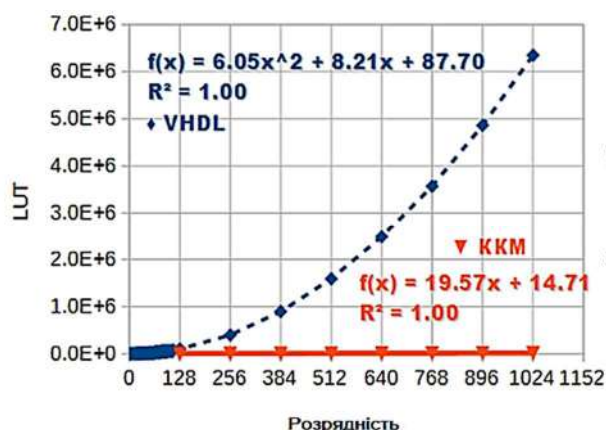


Рис. 9. Залежність кількості LUT від розрядності

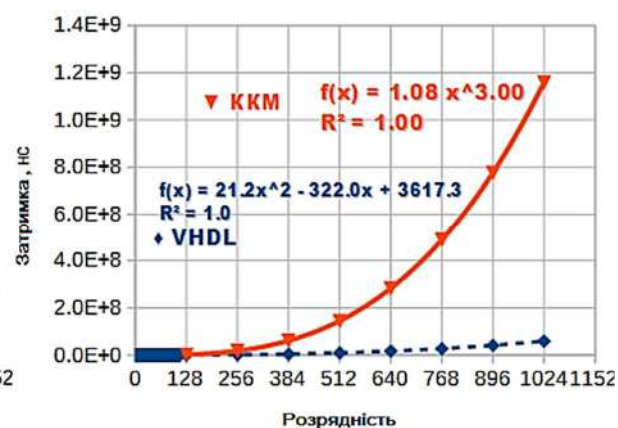


Рис. 10. Залежність затримки від розрядності

Висновки відповідно до статті. Відповідно до отриманих результатів у реалізаціях обох операцій методом функціонального опису мовою VHDL, затримка на обчислення результату має менші значення в діапазоні від 8 до 96 розрядів, ніж при використанні методу структурного опису на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів. Це пояснюється використанням у переважній більшості комбінаційної логіки на відміну від одновимірного каскаду конструктивних модулів, у якому переважає послідовна логіка.

Згідно з результатами експерименту можна констатувати, що реалізація обчислювачів великої розрядності стандартними засобами є неефективною у зв'язку з надлишковістю апаратних витрат. Водночас великою перевагою використання суматора на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів як основи для блока піднесення до степеня за модулем є те, що для реалізації блоків великої розрядності витрачається суттєво менше ресурсів. Наприклад, реалізація методом функціонального опису мовою VHDL на розрядності понад 96 займає кількість ресурсів, яку не можуть надати навіть найбільші екземпляри сімейству ПЛІС Spartan6. При цьому реалізація з використанням суматора за модулем на основі ККМ дає змогу реалізувати блоки розрядністю більше ніж 1024.

Список використаних джерел

1. Роговенко А. І., Тарасенко В. П., Тесленко О. К. Використання схем групового перенесення у суматорах в залишках на основі одновимірних каскадів конструктивних модулів. *Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 15-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2013* (Київ, 27-31 травня 2013 р.). Київ: "ІПСА" НТУУ "КПІ", 2013. С. 484-486.
2. Rogovenko A., Tarasenko V., Teslenko O. The performance defining for adders with variable module based on one-dimensional cascade of constructional modules. *Advanced Computer System and Networks: Design and Application. Proceedings Of the 4st International Conference ACSN-2009*. Lviv, 2009. Pp. 11–13.
3. Роговенко А. І., Тарасенко В. П., Тесленко О. К. Створення параметричних ядер (softcores) для виконання операцій в кінцевих полях. *Науково-технічний журнал "Радіоелектронні і комп'ютерні системи"*. 2008. № 6. С. 261–263.
4. Роговенко А. І. Структура операційного пристрою виконання операцій за модулем на основі одновимірного каскаду конструктивних модулів. *Актуальные научные исследования в современном мире: XXIV Междунар. научн. конф.* (26-27 апреля 2017 г., Переяслав-Хмельницький). Переяслав-Хмельницький, 2017. Вип. 4(24), ч. 4. С. 60–63.

5. Роговенко А. І., Тарасенко В. П., Тесленко О. К. Оптимізація апаратних витрат на реалізацію параметричних ядер (soft-cores) для виконання операцій в скінченних полях. *Науково-технічний журнал "Радіоелектронні і комп'ютерні системи"*. 2009. № 5. С. 184–189.

6. IEEE Std 1076-2008: IEEE standard VHDL language reference manual. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE computer society (2009).

References

1. Rohovenko, A. I., Tarasenko, V. P., Teslenko, O. K. (2013). Vykorystannia skhem hrupovoho perenesennia u sumatorakh v zalyshkakh na osnovi odnovymirnykh kaskadiv konstruktyvnykh moduliv [Use of group transfer schemes in adders in residues on the basis of one-dimensional cascade of constructional modules]. *Systemnyi analiz ta informatsiini tekhnologii: materialy 15-i Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii SAIT 2013 – Systems analysis and information technologies: materials of the 15th International Scientific and Technical Conference SAIT 2013* (pp. 484-486), NNK "IPSA" NTUU "KPI".

2. Rogovenko, A., Tarasenko, V., Teslenko, O. (2009). The performance defining for adders with variable module based on one-dimensional cascade of constructional modules. *Advanced Computer System and Networks: Design and Application. Proceedings Of the 4st International Conference ACSN-2009* (pp. 11–13).

3. Rohovenko, A. I., Tarasenko, V. P., Teslenko, O. K. (2008). Stvorennia parametrychnykh yader (softcores) dlia vykonannia operatsii v kintsevykh poliakh [Creating parametric cores (softcores) to perform operations in finite fields]. *Radioelektronni i kompiuterni systemy – Electronic and computer systems*, (6), pp. 261–263.

4. Rohovenko, A. I. (2017). Struktura operatsiinoho prystroiu vykonannia operatsii za modulem na osnovi odnomirnogo kaskadu konstruktyvnykh moduliv [The structure of the operating device for performing operations on the module based on a one-dimensional cascade of constructional modules]. *Aktualnie nauchnie yssledovanyia v sovremennom myre: XXIV Mezhdunar. nauchn. konf. – Actual scientific research in the modern world: XXIV Intern. scientific. conf.* (Vol. 4(24)(4), pp. 60–63).

5. Rohovenko, A. I., Tarasenko, V. P., Teslenko, O. K. (2009). Optyimizatsiia aparatnykh vytrat na realizatsiiu parametrychnykh yader (soft-cores) dlia vykonannia operatsii v skinchenykh poliakh [Optimization of hardware costs for the implementation of parametric cores (soft-cores) to perform operations in finite fields]. *Radioelektronni i komp'uterni systemy – Electronic and computer systems*, (5), pp. 184–189.

6. IEEE Std 1076-2008: IEEE standard VHDL language reference manual. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE computer society (2009).

UDC 004.62

Andrii Rohovenko

RESEARCH OF COMPUTERS FOR ACCELERATED CALCULATION OF HIGH BIT DEPTH DATA BASED ON A ONE-DIMENSIONAL CASCADE OF CONSTRUCTIVE MODULES

Urgency of the research. The study of computers to calculate data of increased bit size and take into account the impact of methods of their description on the implementation of FPGA will increase the speed of data processing, and more efficient use of FPGA resources is certainly an urgent task.

Target setting. Accelerating the process of calculating data of increased bit size places additional demands on the implementation of elements of computer systems and computer systems in general.

Actual scientific researches and issues analysis. The speed of computing high-bit data used in an FPGA depends on the methods used to describe it, but these methods also affect hardware costs.

Uninvestigated parts of general matters defining. There are no theoretical and experimental studies of high-bit computers to calculate the operations of modules based on one-dimensional cascades of structural modules based on FPGA.

The research objective. The aim of the work is to describe and study computers of complex operations on the module on the data of the increased bit size in the basis of FPGA.

The statement of basic materials. Computers of complex operations on the increased bit module are described by the method of functional description using standard VHDL operators and the method of structural description in the form of a one-dimensional cascade of structural modules. The dependences of speed and hardware costs on the bit are determined experimentally taking into account the internal structure of a certain family of FPGAs for each of the methods of description.

Conclusions. *The use of the method of functional description by typical tools based on FPGA does not allow to take into account the peculiarities of large data processing algorithms, which leads to excessive hardware costs. The proposed method of structural description using a one-dimensional cascade of structural modules in the language of hardware description demonstrates better results and allows a more flexible approach to the use of FPGA hardware resources.*

Reducing the hardware cost of implementing high-bit computing tools within a particular FPGA, by freeing up additional resources, increases the bit size of the data being processed at no additional cost to replace the hardware with an overall increase in the performance of the computing element or system.

Keywords: *one-dimensional cascade of structural modules; FPGA; arithmetic operations modulo; VHDL; functional description; multi-bit data; combinational logic.*

Fig.: 10. Table: 2. References: 6.

Роговенко Андрій Іванович – старший викладач кафедри інформаційних та комп’ютерних систем, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Rohovenko Andrii – senior lecturer of Department of Information and Computer Systems, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: arogoenko@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4594-5692>

ResearcherID: G-3926-2014

УДК 37:004.738

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-118-122

Анна Усік, Ірина Якименко

**АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ
ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ ІоТ**

Актуальність теми дослідження. Питання використання технології ІоТ в освіті є актуальним, особливо в період дистанційного навчання.

Постановка проблеми. Більшість викладачів не можуть постійно досліджувати й управляти процесами навчання здобувачів вищої освіти в реальному часі, що погано впливає на якість освіти загалом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, в яких висвітлено сфери використання технології ІоТ. Також розглянуто найпопулярніші приклади використання ІоТ в освіті.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Удосконалення системи проведення занять із метою покращення освітнього процесу в період дистанційного навчання, за допомогою відстеження відвідування та концентрації уваги на лекції здобувачів вищої освіти.

Постановка завдання. Проаналізувати, як ІоТ впливає на якість освітнього процесу. Описати систему, за допомогою якої можна полегшити роботу викладачів, а саме допомагати контролювати відвідуваність занять і визначати зацікавленість предметом, що надалі допоможе об'єктивно оцінити здобувачів вищої освіти.

Виклад основного матеріалу. Проаналізовано, які існують технології ІоТ в освіті. Описано систему, за допомогою якої можна відстежувати присутність здобувачів на парі, а також контролювати їхню увагу й визначити зацікавленість предметом у реальному часі.

Висновки відповідно до статті. Запропонований у статті аналіз дозволить створити інформаційну систему підтримки освітнього процесу за допомогою технології ІоТ, що в майбутньому дозволить полегшити організаційну роботу викладача і вплине на загальну якість оцінювання студента.

Ключові слова: ІоТ; заклади вищої освіти; моніторинг; електронний журнал; розпізнавання образів; дистанційне навчання.

Рис.: 1. Бібл.: 7.

Актуальність теми дослідження. ІоТ швидко розвивається і стає дедалі актуальнішою темою. Існує безліч ознак, що свідчать про те, що ІоТ буде змінювати багато галузей, включаючи заклади вищої освіти. Враховуючи, що викладач у період дистанційного навчання не може постійно досліджувати й управляти навчальними процесами, за підтримки ІоТ заклади вищої освіти можуть покращувати результати навчання, удосконалюючи операційну ефективність та отримуючи розуміння діяльності студентів у реальному часі. Технологія ІоТ допоможе кардинально змінити спосіб роботи університетів та покращити рівень навчання студентів із багатьох дисциплін та на будь-якому освітньому рівні.

Постановка проблеми. Феномен Інтернету речей (ІоТ) сьогодні відіграє важливу роль у багатьох сферах [1]. Із кожним роком кількість пристроїв, які ми могли б розглядати як елементи Інтернету речей, зростає. Інтернет речей можна розуміти як велику мережу з різними підключеними типами об'єктів, здатних взаємодіяти між собою та обмінюватися інформацією, незалежно від того, чи належать вони до однієї групи. Створення мережі, що складається з пристроїв, які взаємодіють між собою, надає можливість користувачеві більш ефективно управляти всіма підключеними пристроями. Інтернет речей дозволяє віддалено контролювати об'єкти через існуючі мережеві інфраструктури, створюючи можливість для подальшої безпосередньої інтеграції фізичного світу в комп'ютерні системи, що призводить до підвищення ефективності, точності та економічної вигоди. ІоТ доповнюється датчиками та актуаторами, що робить його кіберфізичною системою, яка включає такі технології, як розумні мережі, розумні будинки, інтелектуальний транспорт, розумні міста, а також розумну освіту [2].

Освітній сектор завжди сприймав нові розробки в галузі інформаційних технологій та комунікацій. Термін «освіта» в сучасну епоху не обмежується лише підручниками, але і стосується цифрового середовища знань та інформації. Вплив технологій помітний у різних аспектах навчання: від збільшення участі здобувачів вищої освіти в навчальному процесі через цифровий контент до створення персоналізованого контенту

для покращення розуміння та результатів учнів. Одним із найпотужніших аспектів технологій є IoT. Згідно з дослідженням, проведеним компанією Juniper Research [3], загальна кількість IoT-пристроїв та датчиків перевищить 50 млрд до 2022 р., порівняно з оцінками 21 млрд у 2018 р. [3].

Ключовою проблемою є актуальність взаємозв'язку Інтернету речей та закладів вищої освіти. Основне завдання статті – показати способи, як полегшити освітній процес викладачам за допомогою технології IoT, а також більш якісно оцінювати успішність студентів з урахуванням відвідувань занять і вивчення матеріалу, який надається викладачами на парах, в умовах дистанційного навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження цієї проблеми проводилися такими вітчизняними та закордонними вченими, як Jack Marquez, Suja P Mathews, Alexander Garcia Davalos [4] та ін.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У цій статті проаналізовано систему, за допомогою якої можна підвищити якість проведення заняття викладачем, а також покращити організацію освітнього процесу загалом. За допомогою запропонованої системи викладач зможе відстежувати відвідування занять та зацікавленість предметом здобувачами в режимі реального часу в умовах дистанційного навчання.

Постановка завдання. У статті проаналізовано вплив Інтернету речей на освітню бізнес-модель та екосистему освіти, наведені приклади залучення IoT в закладах освіти. Висвітлено способи покращення якості освіти за допомогою технології IoT, враховуючи попередні дослідження для визначення впливу IoT на освітній процес. Визначено, як можна покращити освітній процес дистанційного навчання за допомогою ведення електронного журналу з критеріями, які допомагають визначити присутність і зацікавленість студентів конкретним предметом.

Виклад основного матеріалу. Вплив IoT на освітню бізнес-модель можна представити у трьох вимірах: програми, модель навчання та зацікавлені сторони (рис. 1).



Рис. 1. Тривимірний вплив IoT на модель освіти

До виміру програм належать: розумні та підключені класи, розумний кампус, автоматизована система відвідуваності, системи для інклюзивної освіти, моніторинг охорони здоров'я студентів, персоналізоване навчання та ін.

Стейкхолдери: здобувачі вищої освіти, викладачі та батьки.

Модель навчання: спільне навчання, віртуальний інструктор, адаптивне навчання та змішане навчання.

Оскільки розумне навчання стосується предметів, навчальних кабінетів, вони пов'язані з технологіями. Традиційний підхід до навчання закінчився розумною системою освіти, навчальна система замінюється методом «chalk-talk» новими технологічними пристроями (Finger Touch, Pen Based, Teaching Pointer тощо). У вищих навчальних закладах студенти потребують середовища, де вони матимуть різноманітність знань, навчальний простір, можливості для досліджень, доступність Інтернету в лабораторії. IoT створює адаптовану область навчання, щоб допомогти їм обмінюватися знаннями одне з одним.

Експерти з освіти оцінюють розумне навчання як самоосвіту, щоб заохотити тих, хто навчається, працювати не тільки з підручниками. Це мотивує учнів до самостійної дослідницької роботи без офіційних аналогових етапів навчання. В IoT лабораторія взаємодіє з об'єктами, датчиками, пропускну здатністю даних та з'єднує компонент із хмарними обчисленнями, це пришвидшує навчання. Тепер учні можуть відстежувати та спостерігати за своїми експериментальними діями в режимі реального часу, використовуючи інтелектуальні технологічні пристрої моніторингу, тобто внутрішню камеру, інтелектуальний голосовий контролер, пристрої відстеження, датчики відстеження Bluetooth, розумний годинник сповіщення. Розумні навчальні середовища прокладають шлях до адаптації учнів до сприйняття інформації та її обробки як цифрових форматів навчання.

Розумний клас – це місце навчання, викладання та оцінювання, яке відбувається в інтелектуальному середовищі. Розумний клас робить систему навчання викладанням простішою, забезпечуючи краще управління класом. Викладачі та студенти можуть знати, що є метою навчання на технологічній основі в системі розумного управління класом. Вчителі здійснюють дії відповідно до успіху учнів. Вони приймають можливі рішення щодо поліпшення якості вищої освіти. Розумні технологічні інструменти, наприклад, документальна камера, інтерактивна дошка, інтерактивний проектор, простий проектор, цифрова камера та графічні планшети використовуються в розумному класі. Концепція розумної класної кімнати стосується дротового та бездротового носія, пов'язаних із технологією [5].

Наведемо деякі приклади використання IoT в освіті.

В одному з досліджень використовувався метод відстеження очей. Дослідивши цей метод, виявили вплив носія на читання і визначили, що студенти, які читають ілюстрований текст на папері, краще обробляють і розуміють текст, ніж студенти, які читають такий самий текст на комп'ютері [6].

У [7] використовувався розумний браслет та сенсорна мережа для виявлення емоцій гніву.

Інтернет речей може виявитися корисним для учнів з обмеженими можливостями. Учні з порушеннями слуху можуть використовувати систему підключених рукавичок і планшет для перекладу з мови жестів в усне мовлення, перетворення звуку в письмову мову. Використання пристроїв і систем Інтернету речей є конструктивним способом надання освітньої допомоги учням з обмеженими можливостями. Особливо це полегшує роботу викладачів зі студентами з обмеженими можливостями в умовах дистанційного навчання.

Для відмінного способу швидко вчитися, а також для кращого засвоєння інформації, був розроблений пристрій ScanMarker. За допомогою нього здобувачі можуть швидко сканувати редагований текст з книг, паперів та інших документів прямо в телефон, планшет чи комп'ютер. Потім цей текст можна перевести більше ніж на 40 мов.

Під час дистанційного навчання у викладачів з'явилось додаткове навантаження. Це пов'язано зокрема з тим, що необхідно постійно контролювати присутність і увагу студентів на лекції. Коли лекція проходить, дуже важко проводити заняття і відстежувати, хто зі студентів перебуває на парі весь час, а хто тільки частину заняття, оскільки ситуація з присутністю може змінюватися в будь-який момент. З урахуванням цього можна

створити систему, яка допоможе контролювати присутність студента. Під присутністю здобувача розуміється відвідування заняття від початку пари і до кінця, без відволікань. Також важливою ознакою якістю навчання є зацікавленість студента під час заняття. Зацікавленість можна перевірити за допомогою концентрації уваги здобувача на моніторі. Це буде визначатися за допомогою розпізнавання образів, а саме фіксувати міміку та емоційний стан студента під час заняття. Камера фіксує положення тіла, міміку, а також положення очей і в подальшому порівнює дані з початковою картинкою з урахуванням можливої похибки.

Після закінчення пари буде створено журнал, в якому буде відмічено, скільки часу здобувач був присутній на парі і який рівень зацікавленості до предмета, а саме, як часто здобувач відволікався від пари. Також можна фіксувати, як змінювався емоційний стан студента протягом заняття.

Висновки відповідно до статті. У процесі написання статті було проаналізовано існуючі технології IoT, які використовувалися в освіті, а також визначено, як вони вплинули на якість освітнього процесу загалом. Проаналізували інформаційну систему удосконалення освітнього процесу, за допомогою визначення присутності студентів на парі, а також визначення зацікавленості предметом через розпізнавання міміки і положення обличчя здобувача.

Список використаних джерел

1. Balaji S., Nathani K., Santhakumar, R. IoT Technology, Applications and Challenges: A Contemporary Survey. *Wireless Personal Communications*. 2019. Vol. 108(1). Pp. 363–388.
2. Francisti J., Balogh Z., Reichel J., Magdin M., Koprda S., Molnar G. Application Experiences Using IoT Devices in Education. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020. Vol. 10(20). Pp. 1–14.
3. Juniper Research: IoT – The Internet of Transformation (2018).
4. Marquez J., Villanueva J., Solarte Z., Garcia A. IoT in Education: Integration of Objects with Virtual Academic Communities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2016. P. 201.
5. Tanjea Ane, Masum Billah, Tabatshum Nepa. Performance of Internet of Things (IoT) Potential Applications in Education. *Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research*. 2020. Vol. 2(2). Pp. 10–16.
6. Latini N., Bråten, I., Salmerón, L. Does reading medium affect processing and integration of textual and pictorial information? A multimedia eye-tracking study. *Contemporary Educational Psychology*. 2020. P. 62.
7. Francisti J., Balogh Z., Reichel J., Magdin M., Koprda S., Molnar G. Application Experiences Using IoT Devices in Education. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(20). P. 7286.

References

1. Balaji, S., Nathani, K., Santhakumar, R. (2019). IoT Technology, Applications and Challenges: A Contemporary Survey. *Wireless Personal Communications*, 108(1), pp. 363–388.
2. Francisti, J., Balogh, Z., Reichel, J., Magdin, M., Koprda, S., Molnar, G. (2020). Application Experiences Using IoT Devices in Education. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(20), pp. 1–14.
3. Juniper Research: IoT—The Internet of Transformation (2018).
4. Marquez, J., Villanueva, J., Solarte, Z., Garcia, A. (2016). IoT in Education: Integration of Objects with Virtual Academic Communities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, p. 201.
5. Tanjea Ane, Masum Billah, Tabatshum Nepa. (2020). Performance of Internet of Things (IoT) Potential Applications in Education. *Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research*, 2(2), pp. 10–16.
6. Latini, N., Bråten, I., Salmerón, L. (2020). Does reading medium affect processing and integration of textual and pictorial information? A multimedia eye-tracking study. *Contemporary Educational Psychology*, p. 62.
7. Francisti, J., Balogh, Z., Reichel, J., Magdin, M., Koprda, S., Molnar, G. (2020). Application Experiences Using IoT Devices in Education. *Applied Sciences*, 10(20), p. 7286.

UDC 37:004.738

*Anna Usik, Iryna Yakymenko***ANALYSIS OF THE INFORMATION SYSTEM TO SUPPORT
OF THE EDUCATIONAL PROCESS USING IoT TECHNOLOGY**

Urgency of the research. The issue of using IoT technology in education is relevant, especially in the period of distance learning.

Target setting. Most teachers cannot constantly monitor and manage the learning processes of higher education students in real time, which has a negative impact on the quality of education in general.

Actual scientific researches and issues analysis. The latest open access publications covering the areas of use of IoT technology were considered. Also considered the most popular examples of the use of IoT in education.

Uninvestigated parts of general matters defining. Improving the system of classes in order to improve the educational process during distance learning, by tracking attendance and focusing on lectures of higher education students.

The research objective. Analyze how IoT affects the quality of the educational process. To describe a system that can facilitate the work of teachers, namely to help control class attendance and determine interest in the subject, which will further help to objectively assess applicants for higher education.

The statement of basic materials. The existing IoT technologies in education are analyzed. A system that can be used to track the presence of applicants in pairs, as well as to control their attention and determine interest in the subject in real time is described.

Conclusions. The analysis proposed in the article will create an information system to support of the educational process using IoT technology, which in the future will facilitate the organizational work of a teacher and affect the overall quality of student assessment.

Keywords: IoT, higher education; monitoring; e-journal; pattern recognition; distance learning.

Fig.: 1. References: 7.

Усік Анна Миколаївна – аспірантка кафедри інформаційних та комп’ютерних систем, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Usik Anna – PhD student of Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: usik18@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4965-6863>

Scopus Author ID: 57212552053

Якименко Ірина Вікторівна – аспірантка кафедри інформаційних та комп’ютерних систем, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Yakymenko Iryna – PhD student of Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: irynayakymenko93@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7778-8831>

Scopus Author ID: 57218099696

УДК 004.732:004.9

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-123-130

Юрій Кулаков, Дмитро Коренко

ІНЖИНІРИНГ ТРАФІКУ В DCN З РОЗГАЛУЖЕНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ

Актуальність теми дослідження. Сучасні DCN мають велику розмірність і відрізняються різноманітністю обладнання, підключеного до них. Через це стає досить складно управляти цим типом мереж, а саме, оркестровкою трафіку. Щоб вирішити ці проблеми використовують технологію програмно-конфігурованих мереж. Також одним із методів вирішення цих проблем є використання різних топологій побудови мереж, адже використання складних топологій не завжди раціонально. У статті розглянуто три основні топології локальних мереж та метод оркестровки трафіку в них.

Постановка проблеми. Основним недоліком методів, які були досліджені в останніх публікаціях, є те, що маршрути формуються кожним вузлом мережі без урахування вже сформованих шляхів іншими вузлами. Це призводить до повторного формування окремих ділянок уже сформованих шляхів. Раціональне використання різних топологій підвищує ефективність використання каналів зв'язку і зменшує складність оркестровки трафіку і технічного супроводу мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час добре описано централізоване формування безлічі шляхів на основі багатокільцевої маршрутизації в SDN. Було запропоновано модифікований спосіб формування безлічі шляхів, що характеризується меншою тимчасовою складністю в порівнянні з відомими способами формування безлічі шляхів. Також був розроблений модифікований спосіб багатокільцевої маршрутизації, який за рахунок обліку особливостей організації SDN, зокрема за рахунок наявності в мережі центрального контролера, дозволяє скоротити час формування безлічі маршрутів доступу до мережевих ресурсів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не розглянутими на сьогодні залишаються варіанти раціонального використання різних топологій для підвищення ефективності використання каналів зв'язку і зменшення складності оркестровки трафіку й технічного супроводу мережі.

Постановка завдання. Завданням є опис трьох основних топологій та розгляд методу багатокільцевої маршрутизації і оркестровки трафіку в них з урахуванням особливостей і переваг SDN.

Виклад основного матеріалу. Описані топології товсте дерево, подвійна розширена зірка та подвійне кільце. Розглянуто метод багатокільцевої маршрутизації і оркестровки трафіку в них з урахуванням особливостей і переваг SDN.

Висновки відповідно до статті. Виконано аналіз результатів та намічені варіанти майбутніх досліджень.

Ключові слова: локальні мережі; оркестровка трафіку; SDN; DCN.

Рис.: 3. Табл.: 10. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. Із кожним роком дедалі зростає потреба в обчислювальній потужності та обсязі інформації і більш актуальним стає завдання підвищення ефективності мережевих центрів даних (DCN). Сучасні DCN мають велику розмірність і відрізняються різноманітністю обладнання, підключеного до них. Через це стає досить складно управляти таким типом мереж, а саме, оркестровкою трафіку. Щоб вирішити ці проблеми використовують технологію програмно-конфігурованих мереж (SDN) [1-3]. Також одним із методів вирішення цих проблем є використання різних топологій побудови мереж. Адже використання складних топологій (наприклад, змішана) не завжди раціонально. Оскільки набагато зручніше в маленьких компаніях використовувати прості топології (шина, зірка, кільце і т. ін.), які значно простіше обслуговувати й оркеструвати в них трафік. У великих же корпораціях доцільно використовувати більш складні побудови мережі для розмежування доступів, хоча ними досить складно управляти і для їх підтримки потрібен великий штат технічних спеціалістів.

Постановка проблеми. Основним недоліком методів, які були досліджені в останніх публікаціях, є те, що маршрути формуються кожним вузлом мережі без урахування вже сформованих шляхів іншими вузлами. Це призводить до повторного формування окремих ділянок уже сформованих шляхів. Раціональне використання різних топологій підвищує ефективність використання каналів зв'язку і зменшує складність оркестровки трафіку й технічного супроводу мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Централізоване формування безлічі шляхів на основі багатокільцевої маршрутизації в SDN дозволяє скоротити час конструювання трафіка і підвищити якість його обслуговування (QoS) [6], однак відомі методи формування безлічі шляхів мають високу тимчасову складність [7]. У зв'язку з цим у роботі «The method of plurality generation of disjoint paths using horizontal exclusive scheduling» [8] запропоновано модифікований спосіб формування безлічі шляхів, що характеризується меншою

тимчасовою складністю в порівнянні з відомими способами формування безлічі шляхів. У роботі «SDN Orchestration for Next Generation Inter-Networking» [9] запропоновано модифікований спосіб багатоколіїної маршрутизації, який за рахунок обліку особливості організації SDN, зокрема за рахунок наявності в мережі центрального контролера, дозволяє скоротити час формування безлічі маршрутів доступу до мережевих ресурсів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не розглянутими на сьогодні залишаються варіанти раціонального використання різних топологій для підвищення ефективності використання каналів зв'язку та зменшення складності оркестровки трафіку й технічного супроводу мережі.

Мета статті. Метою дослідження є розгляд трьох основних топологій локальних мереж і розгляд способу багатоколіїної маршрутизації і оркестровки трафіку в них з урахуванням особливостей і переваг SDN [10-13].

Виклад основного матеріалу.

Fat Tree. У комутованій матриці – топології мережі, в якій використовуються комутатори, – головна мета – підключити велику кількість кінцевих точок (процесорів або серверів) за допомогою комутаторів, що мають лише обмежену кількість портів. Розумно поєднуючи перемикальні елементи та формуючи топологію, мережа може з'єднувати значну кількість кінцевих точок (рис. 1).

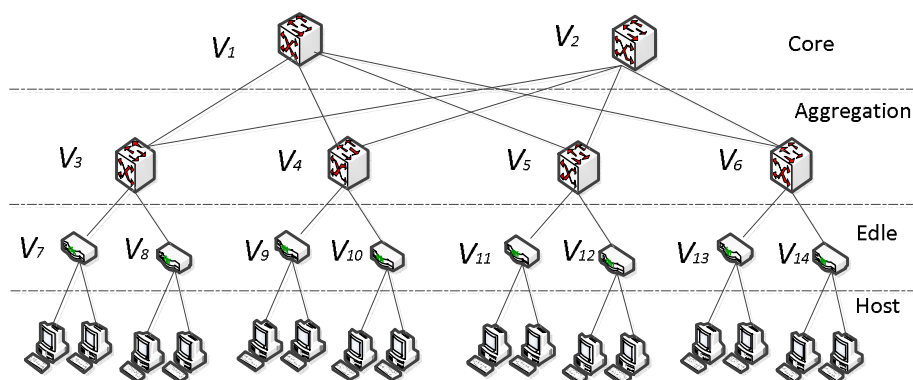


Рис. 1. Топологія Fat Tree

Мережі Fat-Tree (рис. 1) були запропоновані Чарльзом Лейзерсоном з МІТ в 1985 році. Така мережа є деревом і процесори підключені до нижнього рівня. Відмінною особливістю товстого дерева є те, що для будь-якого комутатора кількість послань, що йдуть вниз до його спадкоємців, дорівнює кількості послань, що йдуть до його батьків на верхньому рівні. Тому послання стають «більш товстими» до вершини дерева, і у перемикача в корені дерева є більшість послань у порівнянні з будь-яким іншим перемикачем під ним.

Ця установка особливо корисна для мереж на кристалі і є дешевою та ефективною для використання в суперкомп'ютерах. Однак для корпоративних мереж, що з'єднують сервери, використовуються стандартні (готові) комутатори, які мають фіксовану кількість портів. Отже, конструкція, де кількість портів варіюється від комутатора до комутатора, не дуже зручна у використанні. Тому були запропоновані альтернативні топології, які можуть ефективно використовувати існуючі комутатори з фіксованою кількістю портів.

Топологія «подвійна розширена зірка». У мережах, що використовують топологію «зірка», мережевий носій з'єднує центральний концентратор із кожним пристроєм, підключеним до мережі. Фізичний вигляд топології «зірка» нагадує радіальні спиці, які виходять із центру колеса. У цій топології використовується управління з центральної точки, а зв'язок між пристроями, підключеними до мережі, здійснюється за допомогою двочкових ліній між кожним пристроєм і центральним каналом або концентратором.

Увесь мережевий трафік у зіркоподібній топології проходить через концентратор. Спочатку дані надсилаються до концентратора, а потім концентратор переправляє їх пристрою відповідно до адреси, що міститься в даних.

Але якщо проста зіркоподібна топологія не може покрити ймовірну область мережі, то її можна розширити шляхом використання міжмережових пристроїв, які не дають проявлятися ефекту аттенюації. Результуюча топологія називається топологією «розширена зірка» (рис. 2). Для того щоб зіркоподібна топологія могла ефективно використовуватися у великій будівлі, її необхідно розширити. За рахунок збільшення довжини кабелів горизонтальної кабельної системи це робити не можна, оскільки не можна перевищувати рекомендовану максимальну довжину кабелю. Замість цього можна використовувати мережеві пристрої, які перешкоджають деградації сигналу. Щоб сигнали могли розпізнаватися приймаючими пристроями, використовуються повторювачі, які беруть ослаблений сигнал, очищають його, посилюють і відправляють далі по мережі. За допомогою повторювачів можна збільшити відстань, на яку може сягати мережа. Повторювачі працюють у тандемі з мережевими носіями і, отже, належать до фізичного рівня еталонної моделі OSI.

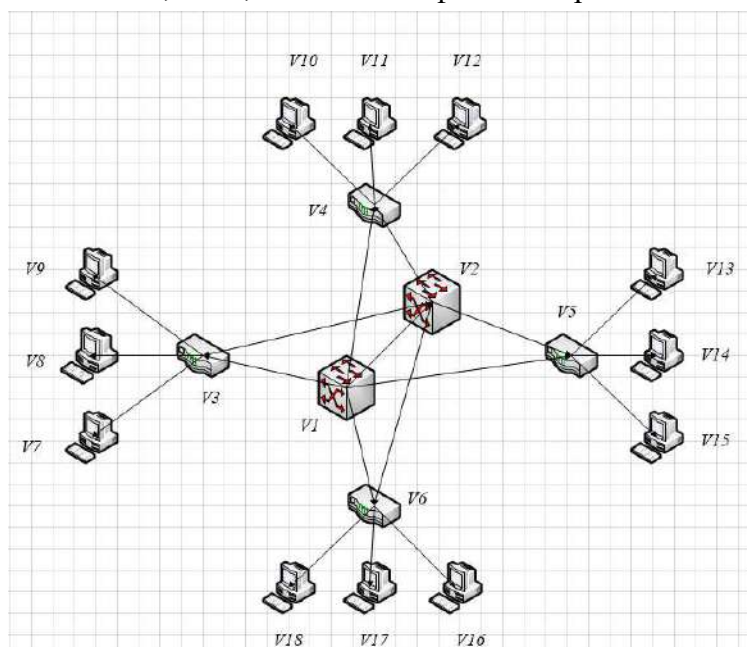


Рис. 2. Топологія «подвійна розширена зірка»

Досить часто для запобігання відмов у роботі мережі додають другий, дублюючий комутатор, який зможе прийняти на себе частину навантаження мережі (рис. 2).

Топологія «подвійне кільце». У кільці, на відміну від інших топологій (зірка, шина), не використовується конкурентний метод надсилання даних. Комп'ютер у мережі отримує дані від попереднього в списку адресатів і перенаправляє їх далі, якщо вони адресовані не йому. Список адресатів генерується комп'ютером, що є генератором маркера. Мережевий модуль генерує маркерний сигнал, який зазвичай становить 2-10 байт, щоб уникнути загасання, і передає його наступній системі. Наступна система, прийнявши сигнал, не аналізує його, а просто передає далі. Це так званий нульовий цикл (рис. 3).

Топологія «подвійне кільце» (рис. 3) побудована на двох кільцях. Перше кільце – основний шлях для передачі даних. Друге – резервний шлях, що дублює основний. Якщо перше кільце функціонує нормально, то дані передаються тільки по ньому. Якщо кільце виходить із ладу, воно об'єднується з другим і мережа продовжує функціонувати. Дані при цьому за першим кільцем передаються в одному напрямку, а по другому – у зворотному. Прикладом може послужити мережа FDDI.

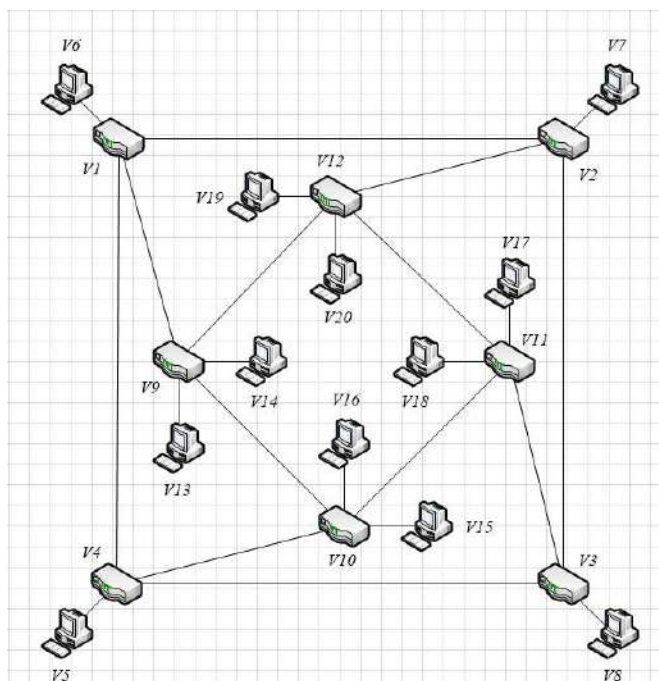


Рис. 3. Топологія «подвійне кільце»

Для формування маршрутів передачі пакетів у розглянутих топологіях будемо використовувати модифікований алгоритм [13].

Приклади формування таблиць багатоколіїної маршрутизації. Розглянемо приклади формування таблиць маршрутизації для передачі інформації від вузла V7 до вузла V14 DCN розглянутих вище топологій.

У роботі «Orchestration of traffic in network data centers based on technology Software-Defined Networking» [13] наведена послідовність формування таблиць маршрутів для топології Fat Tree. Але цьому прикладі побудуємо таблиці маршрутів для топологій подвійна розширена зірка і подвійне кільце (табл. 1).

Таблиця 1

Завантаження каналів для топології подвійна розширена зірка

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
Канал	$V_{14}V_5$	V_5V_2	V_5V_1	V_6V_2	V_6V_1	V_2V_3	V_2V_4	V_2V_6	V_1V_3	V_1V_4	V_1V_6	V_3V_7
Навантаження	0,1	0,2	0,7	0,5	0,6	0,6	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,1

Послідовність формування таблиць маршрутів.

Формується множина вузлів $W_1 = \{V_5\}$, суміжних з вузлом V_{14} .

Формується таблиця маршрутів для вузла V_5 (табл. 2).

Таблиця 2

Таблиця маршрутів для вузла V_5

Таблиця вузла V_5			
вузол		метрика шляху	навантаження шляху до V_{14}
адресат	суміжний		
V_{14}	V_{14}	$M_{i,14}$	0,1

$j = 1$.

Формується множина вузлів $W_2 = \{V_1, V_2\}$, що примикають до вузла V_5 .

Коефіцієнт навантаження каналу $L_2 = (V_5, V_2)$ дорівнює $d_2 = 0,2$.

$d_2 > D_5$, тоді $D_1 = d_2 = 0,2$.

Формування таблиці маршрутів до вузла V_2 (табл. 3).

Таблиця 3

Таблиця маршрутів для вузла V_2

Таблиця вузла V_2			
вузол		метрика шляху	навантаження шляху до V_5
адресат	суміжний		
V_{14}	V_5	$M_{i,14}$	0,2

Коефіцієнт навантаження каналу $L_3 = (V_5, V_1)$ дорівнює $d_3 = 0,7$.

$d_3 > D_2$, тоді $D_i = d_3 = 0,7$.

Формування таблиці маршрутів до вузла V_1 (табл. 4).

Таблиця 4

Таблиця маршрутів для вузла V_1

Таблиця вузла V_1			
вузол		метрика шляху	навантаження шляху до V_3
адресат	суміжний		
V_{14}	V_3	$M_{i,14}$	0,2

$j=2$.

Формується множина вузлів $W_3 = \{V_3, V_4, V_5\}$, що примикають до вузла V_2 .

Подібним чином, сформувавши маршрути до інших вузлів, як результат, ми отримаємо таблицю маршрутів для вузла V_3 , через який ми отримаємо доступ до вузла V_7 (табл. 5).

Таблиця 5

Таблиця маршрутів для вузла V_3

Таблиця вузла V_3			
вузол		метрика шляху	Path load up to V_1
адресат	суміжний		
V_{14}	V_1	$M_{i,14}$	0,3
V_{14}	V_2	$M_{i,14}$	0,6

На підставі вищезазначених таблиць маршрутизації інформація передається від вузла V_7 до вузла V_{14} з мінімальним значенням $D_1 = 0,3$ у такій послідовності $V_7 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_5 \rightarrow V_{14}$ (табл. 6).

Таблиця 6

Завантаження каналів для топології подвійне кільце

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
Канал	$V_{14}V_9$	V_9V_{10}	V_9V_1	$V_{10}V_4$	$V_{10}V_{11}$	$V_{11}V_3$	$V_{11}V_{12}$	$V_{12}V_2$	V_3V_4	V_4V_1	V_1V_2	V_2V_7
Навантаження	0,1	0,2	0,7	0,3	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,2	0,4	0,1

Послідовність формування таблиць маршрутів.

Формується множина вузлів $W_1 = \{V_9\}$, суміжних з вузлом V_{14} .

Формується таблиця маршрутів для вузла V_9 (табл. 7).

Таблиця 7

Таблиця маршрутів для вузла V_9

Таблиця вузла V_9			
вузол		метрика шляху	навантаження шляху до V_{14}
адресат	суміжний		
V_{14}	V_{14}	$M_{i,14}$	0,1

$j = 1$.

Формується множина вузлів $W_2 = \{V_1, V_{10}\}$, що примикають до вузла V_9 .

Коефіцієнт навантаження каналу $L_2 = (V_9, V_{10})$ дорівнює $d_2 = 0,2$.

$d_2 > D_9$, тоді $D_i = d_2 = 0,2$.

Формування таблиці маршрутів до вузла V_{10} (табл. 8).

Таблиця 8

Таблиця маршрутів для вузла V_{10}

Таблиця вузла V_{10}			
вузол		метрика шляху	навантаження шляху до V_9
адресат	суміжний		
V_{14}	V_9	$M_{i,14}$	0,7

Коефіцієнт навантаження каналу $L_3=(V_9, V_1)$ дорівнює $d_3=0,7$.

$d_3 > D_{10}$, тоді $D_i = d_3 = 0,7$.

Формування таблиці маршрутів до вузла V_4 (табл. 9).

Таблиця 9

Таблиця маршрутів для вузла V_4

Таблиця вузла V_4			
вузол		метрика шляху	навантаження шляху до V_{10}
адресат	суміжний		
V_{14}	V_{10}	$M_{i,14}$	0,3

$j = 2$.

Формується множина вузлів $W_3 = \{V_4, V_{11}\}$, що примикають до вузла V_{10} .

Подібним чином, сформувавши маршрути до інших вузлів, як результат, ми отримаємо таблицю маршрутів для вузла V_2 , через який ми отримаємо доступ до вузла V_7 (табл. 10).

Таблиця 10

Таблиця маршрутів для вузла V_2

Таблиця вузла V_2			
вузол		метрика шляху	Path load up to V_7
адресат	суміжний		
V_{14}	V_1	$M_{i,14}$	0,4
V_{14}	V_{12}	$M_{i,14}$	0,5

На підставі вищезазначених таблиць маршрутизації інформація передається від вузла V_7 до вузла V_{14} з мінімальним значенням $D_1 = 0,4$ у такій послідовності $V_7 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_4 \rightarrow V_{10} \rightarrow V_9 \rightarrow V_{14}$.

Якщо навантаження на зв'язок обраного маршруту зростає, його таблиця маршрутів змінюється. Це призводить до реконфігурації заданого шляху.

Процедура оркестровки руху більш докладно описана в статті «Orchestration of traffic in network data centers based on technology Software-Defined Networking» [13]. Використовуючи його, можна досить легко оркеструвати трафік для різних топологій мережі.

Висновки відповідно до статті. У роботі реалізовано дві мережеві топології та використаний метод оркестровки трафіку в DCN, який, враховуючи особливості організації SDN, дозволяє скоротити час формування набору маршрутів доступу до мережевих ресурсів та спростити процедуру зміни маршруту.

Дані топології за допомогою цього методу [13] дозволяють практично виключити затримку або втрату пакетів у процесі перенаправлення трафіку. Водночас чим більше шляхів формується в топологіях, тим меншою буде ймовірність затримки або втрати пакетів.

Ці топології добре підходять для малих та середніх офісів. Для використання на великих підприємствах ці топології повинні бути розширені та розгалужені. Можливою темою наступних досліджень є розробка методу оркестровки трафіку в більших топологіях. Також цікавою темою було б навчання та розміщення в певних вузлах нейромережі, яка б відповідала за аналіз переданих пакетів та захист від кібератак на систему.

Список використаних джерел

1. Isong B., Kgogo T., Lugayizi F. Trust establishment in SDN: controller and applications. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*, 2017. Vol. 9(7). Pp. 20–28. URL: <http://dx.doi.org/10.5815/ijcnis.2017.07.03>.
2. Kumar P., Dutta R., Dagdi R., Sooda K., Naik A.: A programmable and managed softwaredefined network. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*. 2017. Vol. 12. Pp. 11–17. URL: <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2017.12.02>. In MECS <http://www.mecs-press.org/>.
3. Sahoo, K. S., Mishra, S. K., Sahoo, S., Sahoo, B.: Software defined network: the next generation internet technology. *Int. J. Wirel. Microwave Technol. (IJWMT)*. 2017. Vol. 7(2). Pp. 13–24. URL: <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2017.02.02>.
4. Kreutz D., Ramos F., Ver'issimo P., Rothenberg C., Azodolmolky S., Uhlig S. Software-Defined Networking: {A} Comprehensive Survey. *Proceedings of the {IEEE}*. 2015. Vol. 103, no. 1. Pp. 14–76.
5. Han Y., Seoy S., Li J., Yooy J. H., Hong J. W. Software Defined Networking-based Traffic Engineering for Data Center Networks: *In Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium* (2014). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6996601>.
6. Chemerinsky E., Smeliansky R. On QoS Management in SDN by Multipath Routing. *Proceedings International Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC)* (2014). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6995581>.
7. Moza M., Kumar S. Analyzing multiple routing configuration. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*/ 2016. Vol. 5. Pp. 48–54. URL: <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2016.05.07>.
8. Kulakov Y., Kogan A. The method of plurality generation of disjoint paths using horizontal exclusive scheduling. *Adv. Sci. J.* 2014. Vol. 10. Pp. 16–18. URL: <https://doi.org/10.15550/ASJ.2014.10>.
9. Basit A., Qaisar S., Syed H., Ali M. SDN Orchestration for Next Generation Inter-Networking: A Multipath Forwarding Approach. *In IEEE Access* 5. 2017. Pp. 13077-13089. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7879870>.
10. Kulakov Y., Kopychko S., Gromova V. Organization of Network Data Centres Based on Software-Defined Networking. *Proceedings International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications ICCSEEA 2018*. Pp. 447-455. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-91008-6>.
11. Shu Z., Wan J., Lin J., Wang S., Li D., Rho S., Yang C. Traffic engineering in softwaredefined networking: measurement and management. *IEEE Access* 4. 2016. Pp. 3246–3256. URL: http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html.
12. Abbasi M. R., Guleria A., Devi M. S. Traffic engineering in software defined networks: a survey. *J. Telecommun. Inf. Technol.* 2016. Vol. 4. Pp. 3–13.
13. Kulakov Y., Kohan A., Kopychko S. Orchestration of traffic in network data centers based on technology Software-Defined Networking ICCSEEA 2019.

References

1. Isong, B., Kgogo, T., Lugayizi, F. (2017). Trust establishment in SDN: controller and applications. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*, 9(7), pp. 20–28. <http://dx.doi.org/10.5815/ijcnis.2017.07.03>.
2. Kumar, P., Dutta, R., Dagdi, R., Sooda, K., Naik, A. (2017). A programmable and managed softwaredefined network. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*, 12, pp. 11–17. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2017.12.02>. In MECS <http://www.mecs-press.org/>.
3. Sahoo, K. S., Mishra, S. K., Sahoo, S., Sahoo, B. (2017). Software defined network: the next generation internet technology. *Int. J. Wirel. Microwave Technol. (IJWMT)*, 7(2), pp. 13–24. <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2017.02.02>.
4. Kreutz, D., Ramos, F., Ver'issimo, P., Rothenberg, C., Azodolmolky, S., Uhlig, S. (2015). Software-Defined Networking: {A} Comprehensive Survey. *Proceedings of the {IEEE}*, 103(1), pp. 14–76.
5. Han Y., Seoy S., Li, J., Yooy, J. H., Hong, J. W. (2014). Software Defined Networking-based Traffic Engineering for Data Center Networks: *In Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6996601>.
6. Chemerinsky E., Smeliansky R. (2014). On QoS Management in SDN by Multipath Routing. *In: Proceedings International Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC)*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6995581>.

7. Moza M., Kumar S. (2016). Analyzing multiple routing configuration. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*, 5, pp. 48–54. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2016.05.07>.
8. Kulakov Y., Kogan A. (2014). The method of plurality generation of disjoint paths using horizontal exclusive scheduling. *Adv. Sci. J.*, 10, pp. 16–18. <https://doi.org/10.15550/ASJ.2014.10>.
9. Basit A., Qaisar S., Syed H., Ali M. (2017). SDN Orchestration for Next Generation Inter-Networking: A Multipath Forwarding Approach. In *IEEE Access* 5 (pp. 13077–13089). <https://ieeexplore.ieee.org/document/7879870>.
10. Kulakov Y., Kopychko S., Gromova V. (2018). Organization of Network Data Centres Based on Software-Defined Networking. In *Proceedings International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications ICCSEEA 2018* (pp. 447–455). <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-91008-6>.
11. Shu Z., Wan J., Lin J., Wang S., Li D., Rho S., Yang C. (2016). Traffic engineering in softwaredefined networking: measurement and management. *IEEE Access* 4 (pp. 3246–3256). http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html.
12. Abbasi, M. R., Guleria, A., Devi, M. S. (2016). Traffic engineering in software defined networks: a survey. *J. Telecommun. Inf. Technol.* 4, pp. 3–13.
13. Kulakov Y., Kohan A., Kopychko S. (2019). Orchestration of traffic in network data centers based on technology Software-Defined Networking ICCSEEA 2019.

UDC 004.732:004.9

Yurii Kulakov, Dmytro Korenko

TRAFFIC ENGINEERING IN DCN WITH A RAMIFIED TOPOLOGY

Urgency of the research. Modern DCNs have a large dimension and differ in the variety of equipment connected to them. This makes it quite difficult to manage this type of network, namely, traffic orchestration. To solve these problems we use the technology of software-configured networks. Also, one of the methods to solve these problems is to use different topologies for building networks. After all, the use of complex topologies is not always rational. The article considers three main topologies of local networks and the method of orchestration of traffic in them.

Target setting. The main disadvantage of the methods that have been studied in recent publications is that the routes are formed by each node of the network without taking into account the already formed paths of other nodes. This leads to the re-formation of individual sections of already formed paths. Rational use of different topologies increases the efficiency of communication channels and reduces the complexity of traffic orchestration and network maintenance.

Actual scientific researches and issues analysis. At present, the centralized formation of multiple paths based on multipath routing in SDN is well described. A modified method of forming multiple paths has been proposed, which is characterized by less time complexity compared to known methods of forming multiple paths. A modified method of multipath routing was also developed, which by taking into account the peculiarities of the SDN organization, in particular due to the presence of a central controller in the network, allows to reduce the time of formation of many access routes to network resources.

Uninvestigated parts of general matters defining. Options for the rational use of different topologies to increase the efficiency of communication channels and reduce the complexity of traffic orchestration and network maintenance remain not considered at the moment.

The research objective. The task is to describe the three main topologies and consider the method of multipath routing and orchestration of traffic in them, taking into account the features and benefits of SDN.

The statement of basic materials. The topologies of a fat tree, a double extended star and a double ring are described. The method of multipath routing and orchestration of traffic in them taking into account the features and an advantage of SDN is considered.

Conclusions. The analysis of results is carried out and variants of future researchers are planned.

Keywords: local networks; traffic orchestration; SDN; DCN.

Fig.: 3. **Table:** 10. **References:** 13.

Кулаков Юрій Олексійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Kulakov Yurii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: ya.kulakov@gmail.com

ScopusID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190438722>

Коренко Дмитро Володимирович – студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Korenko Dmytro – student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: korenko.dima98@gmail.com

УДК 004.75

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-131-143

Володимир Русінов, Богдан Іваніщев, Андрій Антонюк,
Артем Волокита, Георгій Луцький

СПОСОБИ СИНТЕЗУ ТОПОЛОГІЧНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ НА ОСНОВІ КОДОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЕ БРУЙНА

Актуальність теми дослідження. На сьогодні такі топологічні організації, як дерева (tree), жирні дерева (fat tree), 3D-mesh, 6D-tor, DragonFly використовуються як спосіб мережевої організації в центрах обробки даних. Усі ці топології мають відмовостійкі властивості внаслідок наявності декількох альтернативних шляхів маршрутизації. Тому актуальною є задача розробки нових топологій, які будуть мати багато збалансованих маршрутів (one cost path). Одним із кращих варіантів для досліджень покращення топології дерева є комбінація з графами де Бруйна в різних системах числення, що дозволяє варіювати ступенем вершин, діаметром та кількістю альтернативних шляхів для маршрутизації. У статті пропонується використати новий спосіб, який дозволяє отримати задані характеристики при об'єднанні топологій на основі дерев з графом на основі кодових перетворень де Бруйна.

Постановка проблеми. При створенні високопродуктивних обчислювальних систем важливою є завчасна розробка їх топологічних організацій, яка дозволяє вчасно передбачити характеристики системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час існує низка робіт, присвячених топологіям, що засновані на послідовності де Бруйна. Існує детальний огляд синтезу гібридних топологій на основі графів де Бруйна та гіперкуба.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не розглянутою на цей час залишається можливість використання гібридних топологій на основі дебруйнівських послідовностей та різних типів дерев.

Постановка завдання. Завданнями є розробка способу синтезу нових топологій на основі дерев і дебруйнівських послідовностей та аналізу характеристик синтезованих топологічних організацій для різних рівнів відмовостійкості.

Виклад основного матеріалу. Описано синтез n -яти топологій на основі дерев і дебруйнівських послідовностей. Проведено порівняльний аналіз усіх синтезованих топологій.

Висновки відповідно до статті. Виконано аналіз характеристик, виділено основні переваги та недоліки запропонованих топологічних структур, висунуто пропозиції щодо їх покращення.

Ключові слова: граф де Бруйна; топологія; відмовостійкість.

Рис.: 13. Табл.: 9. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. На сьогодні дерева (tree) та жирні дерева (fat tree) широко використовуються як спосіб мережевої організації в центрах обробки даних. Також в сучасних суперкомп'ютерах використовуються такі топологічні організації, як 3D-mesh [1], DragonFly [2], 6D-tor [3]. Усі ці топології мають відмовостійкі властивості внаслідок наявності декількох альтернативних шляхів маршрутизації. Тому актуальною є задача розробки нових топологій, які будуть мати багато збалансованих маршрутів (one cost patch) [4]. Одним із варіантів для досліджень покращення топології дерева є комбінація з графами де Бруйна в різних системах числення. Використання різних систем числення дозволяє варіювати ступенем вершин, діаметром та кількістю альтернативних шляхів для маршрутизації. У статті пропонується використати новий спосіб, який дозволяє отримати задані характеристики при об'єднанні топологій на основі дерев із графом на основі кодових перетворень де Бруйна.

Постановка проблеми. При створенні високопродуктивної обчислювальної системи важливою частиною роботи є розробка топологічної організації. Цей крок дозволяє вчасно передбачити характеристики системи, не виконуючи повної моделі системи, що дозволяє правильно підібрати обладнання та розробити алгоритми маршрутизації. Як відомо, більшість кластерів використовує центральні процесори разом із декількома графічними прискорювачами для розв'язання обчислювальних задач. Зазвичай значна частина ліній PCI express вже використовується, і тому важливо передчасно кількість зв'язків для кожного вузла, що буде впливати на чергу повідомлень, яка буде утворюватися.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час існує низка робіт, присвячених топологіям, що засновані на послідовності де Бруйна [5-7]. Існує детальний огляд синтезу гібридних топологій на основі графів де Бруйна та гіперкуба. Також цікаво зазначити, що збільшується кількість наукових статей, які використовують графи де Бруйна для синтезу ДНК і геномів [8].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Однією з поширених модифікацій дерева є товсте дерево, показники якого дозволяють виконувати масштабування відмовостійких топологій. Проте раніше не було розглянуто можливість використання гібридних топологій на основі дебруйнівських послідовностей та різних типів дерев.

Мета статті. Метою дослідження є розробка способу синтезу нових топологій на основі дерев і дебруйнівських послідовностей, та аналізу характеристик синтезованих топологічних організацій для різних рівнів відмовостійкості.

Виклад основного матеріалу. Більшість топологій, які застосовуються в суперкомп'ютерах, насправді мають корені з простих топологічних організацій, наприклад решітки (mesh). Отже, здійснити перехід від простих до складних топологій можна декількома шляхами:

Ієрархічний підхід. На основі кластера, який містить невелику кількість поєднаних між собою вузлів, формується ієрархічна топологія, в якій зв'язки між кластерами також відповідають одному заданому правилу.

Декартовий добуток топологій. Дозволяє отримати нові топології з поєднанням властивостей обох початкових топологій [5].

Об'єднання топологій. За допомогою додаткових зв'язків можна зберегти переваги деякої топології та розширити її функціонал через зв'язки, що притаманні іншій топології.

До основних показників топологій будемо відносити кількість N вузлів топології, ступінь S топології, діаметр D топології, середній діаметр D топології, топологічний графік Q , вартість C .

Як початкові базові досліджувані топологічні організації використані дерева та графи де Бруйна. Розглянемо звичайне бінарне дерево. Масштабування такої топології здійснюється наступним чином: є коренева вершина, на наступному кроці до неї додаються дві нові вершини, які називаються ярусом. На кожному кроці масштабування до останнього ярусу, до кожної з вершин додається по дві вершини, утворюючи новий ярус (рис. 1, табл. 1).

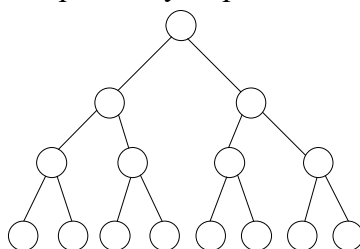


Рис. 1. Топологія бінарне дерево

Таблиця 1

Характеристики бінарного дерева на r -ому кроці

Параметр (r – ранг)	Кількість вершин	Ступінь	Діаметр	Ціна
Рівняння зросту	2^r-1	3	$2*(r-1)$	$3*(2^r-1)*2*(r-1)$

Проте в дерева залишаються проблеми, які потребують вирішення. Наприклад, швидке зростання діаметру та топологічного графіку. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є зупинка масштабування дерева з одночасним додаванням нових зв'язків, що реалізовано в топології товстого дерева. Інший варіант, який розглядається в цій роботі, – це синтезування гібридної топології на основі дерева та дебруйнівських зв'язків.

Розглянемо граф де Бруйна, який створюється за допомогою зсувів вліво. При формуванні нової послідовності, старша цифра витискається (зникає), молодша цифра після зсуву отримує значення 0 або 1. Отримані таким чином вузли мають зв'язок із вузлом, від номера якого зроблено зсув. Наприклад, візьмемо (табл. 2) де наведено формування послідовності де Бруйна для тризначних чисел.

Таблиця 2

Таблиця формування дебруйнівських послідовностей

000		001		010		011	
001	000	010	011	100	101	110	111
100		101		110		111	
000	001	010	011	100	101	110	111

Таким чином утворюється послідовність де Бруйна. Для масштабування графа, додається ще один розряд, що збільшує кількість вузлів удвічі. Потрібно зазначити, що граф можна повторно використати для наступних кроків масштабування. При цьому потрібно продублювати граф два рази і додати нові зв'язки, тому що в разі збільшення кількості розрядів, дебруйнівські зсуви будуть генерувати нові значення, які розширюють попередній етап масштабування (рис. 2, табл. 3).

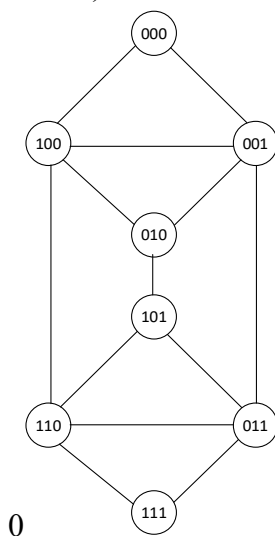


Рис. 2. Топологія де Бруйна

Таблиця 3

Характеристики топології де Бруйна на r-ному кроці

Параметр (r – ранг)	К-сть вершин	Ступінь	Діаметр	Ціна
Рівняння зросту	2^r	4	r	$4 \cdot 2^{r-1}$

Синтез топології. Перша запропонована топологія: Кластери з двійкових дерев, що ієрархічно об'єднані за принципом де Бруйна. Пропонується взяти двійкове дерево як кластер (групу вузлів) та об'єднати з іншими кластерами за логікою, що описується дебруйнівськими зсувами.

Розглянемо більш детально, як формуються зв'язки на основі дебруйнівських зсувів, на прикладі двійкового числа. Для формування зв'язку потрібно зробити зсув числа A вліво, та на місці останньої цифри записати 0 або 1. Таким чином, формуються два зв'язки, при цьому старша цифра, яка залишається поза розрядною сіткою, виштовхується і не враховується. Число A можна представити в такому вигляді:

$$A = a_i \cdot 2^i + a_{i-1} \cdot 2^{i-1} + \dots + a_1 \cdot 2 + a_0.$$

Для утворення зв'язків, необхідно зробити зсув вліво, таким чином утворюється число A_s :

$$A_s = a_{i-1} \cdot 2^i + a_{i-2} \cdot 2^{i-1} + \dots + a_0 \cdot 2 + E,$$

де E – приймає два значення 0 і 1.

Отже, числа з якими буде встановлений зв'язок A_{S0} і A_{S1} описуються такими формулами:

$$A_{S0} = a_{i-1} \cdot 2^i + a_{i-2} \cdot 2^{i-1} + \dots + a_0 \cdot 2 + 0.$$

$$A_{S1} = a_{i-1} * 2^i + a_{i-2} * 2^{i-1} + \dots + a_0 * 2 + 1.$$

Варто зазначити, що існує два числа B_0 та B_1 , які матимуть зв'язок з числом A :

$$B_0 = 0 * 2^i + a_i * 2^{i-1} + \dots + a_2 * 2 + a_1;$$

$$B_1 = 1 * 2^i + a_i * 2^{i-1} + \dots + a_2 * 2 + a_1.$$

Розглянемо приклад для 4 кластерів (груп), де кожен кластер є бінарним деревом з 7 вершинами (рис. 3, табл. 4).

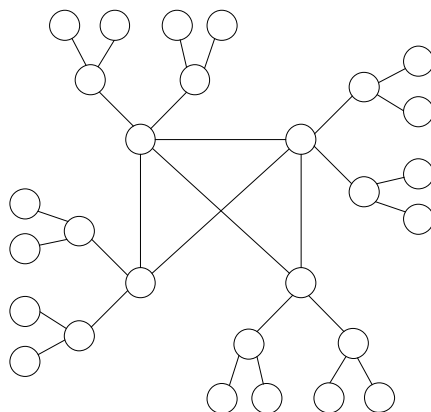


Рис. 3. Кластери із двійкових дерев, що ієрархічно об'єднані за принципом ДеБруйна

Таблиця 4

Характеристики кластерів двійкових дерев, що ієрархічно об'єднані за принципом де Бруйна

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний трафік	SD
14	5	3	3,131868	210	2,087912	15
28	6	5	3,637566	840	1,445026	30
56	7	6	4,258442	2352	1,419481	42
112	8	6	4,852156	5376	1,617385	48
224	9	6	5,5217	12096	1,840567	54
448	10	6	6,256492	26880	2,085497	60
896	11	6	7,039867	59136	2,346623	66
1792	12	6	7,866417	129024	2,662214	72
3584	13	6	8,730765	279552	2,910255	78

Наступна запропонована топологія: **Двійкове дерево з горизонтальними дебруйнівськими зв'язками**. На кожному горизонтальному ярусі дерева формуються зв'язки між вузлами на основі дебруйнівських зсувів.

Отже, на кожному наступному кроці масштабування до дерева додається $2^r - 1$ вершин, що також дорівнює кількості вершин у графі де Бруйна на r розрядах. Таким чином, ми можемо застосувати дебруйнівські зсуви на кожному ярусі дерева, для поліпшення базових характеристик дерева. При цьому рекомендуємо використовувати подвійну нумерацію, щоб органічно поєднати пошук по дереву й маршрутизацію за де Бруйном. Ярус визначається за допомогою номера вузла в дереві. Припустимо, що нас цікавить, на якому ярусі знаходиться вузол p , для цього знаходимо значення $\lceil \log_2(p) \rceil = m$, яке відповідатиме ярусу, на якому знаходиться вершина. Знаючи це значення, можна визначити усі зв'язки між вершинами на ярусі вже з нумерацією де Бруйна. Таким чином, вузол має подвійний номер, що пишеться через крапку. Наприклад, 3.7, де 3 – це рівень дерева, а 7 – номер у топології де Бруйна (рис. 4, табл. 5).

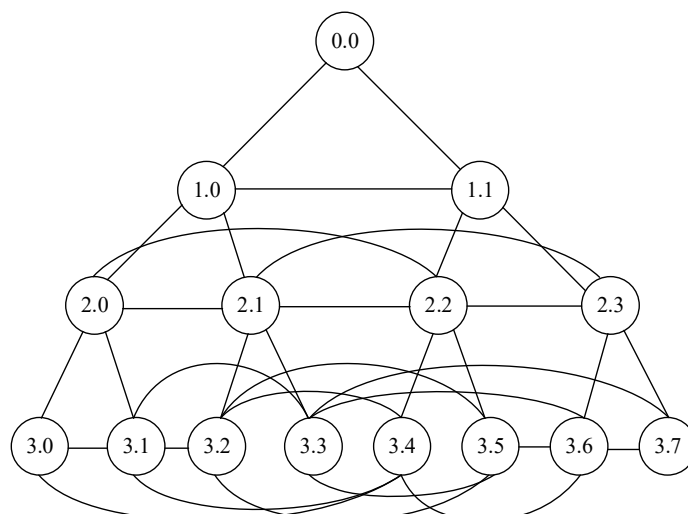


Рис. 4. Двійкове дерево з горизонтальними дебруйнівськими зв'язками

Таблиця 5

Характеристики двійкового дерева з горизонтальними дебруйнівськими зв'язками

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
3	1	2	1	6	1	8
7	3	4	1,80952	84	0,90476	12
15	5	4	2,94286	300	1,47143	20
31	7	4	4,34409	868	2,17204	28
63	9	4	5,94031	2268	2,97465	36
127	11	4	7,69929	5588	3,84964	44
255	13	4	9,54618	13260	4,77309	52
511	15	4	11,45497	30660	5,72749	60
1023	17	4	13,40185	69564	6,70092	68
2047	19	4	15,37146	155572	7,68573	76
4095	21	4	17,35434	343980	8,67717	84

Третя запропонована топологія: **Двійкові дерева, пов'язані між собою трійковими дебруйнівськими зв'язками.** Кластери формуються на основі дерев на обраному кроці масштабування та об'єднуються за допомогою трійкових зсувів де Бруйна.

Цей спосіб схожий до першого розглянутого, проте трійкові дебруйнівські зсуви дещо по-іншому формуються. Як і в першому прикладі, як кластер обрано бінарне дерево з 7 вершинами. Для формування зв'язку потрібно зробити зсув числа А вліво, та на місці молодшої цифри записати 0 та 1 і 2. Таким чином формуються два зв'язки, при цьому старша цифра, яка залишається поза розрядною сіткою, виштовхується і не враховується. Схожий спосіб із використанням надлишкового кодування описано в публікації [9-13]. Отже, існує число А:

$$A = a_i * 3^i + a_{i-1} * 3^{i-1} + \dots + a_1 * 3 + a_0,$$

де а –цифра від 0 до 2, і – кількість розрядів в числі А.

Сформуємо зв'язки за допомогою зсуву вліво. Після зсуву числа, отримуємо число As:

$$As = a_{i-1} * 3^i + a_{i-2} * 3^{i-1} + \dots a_0 * 3 + e,$$

де е – набуває значення 0, 1 або 2.

Залежно від значення е, отримуємо 3 різних числа, з якими буде утворені зв'язки. Аналогічно до формування зв'язків для першої топології, існують 3 числа В₀, В₁, В₂, які формують зв'язок з А, опишемо загальною формулою для всіх трьох випадків для В_i, в якому е набуває значення 0, 1, 2 (рис. 5, табл. 6):

$$B_i = e * 3^i + a_i * 3^{i-1} + \dots + a_2 * 3 + a_1.$$

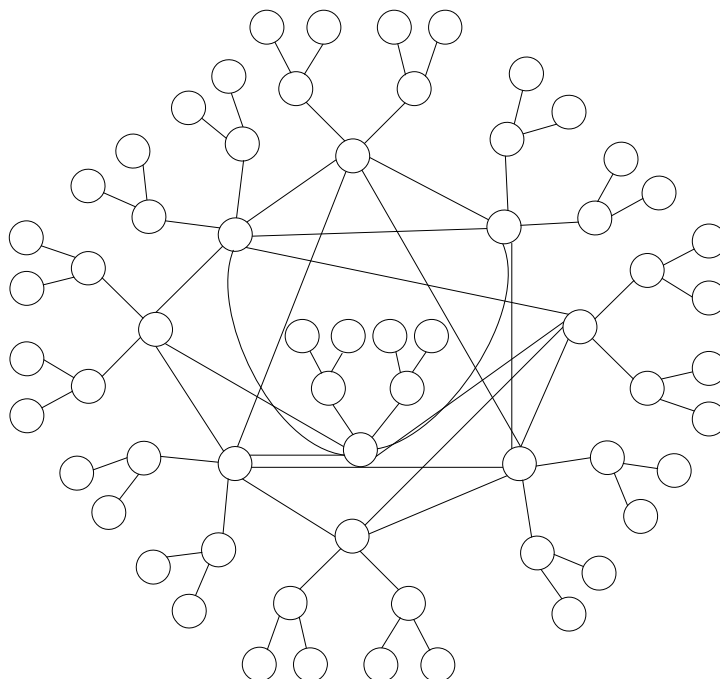


Рис. 5. Двійкові дерева, пов'язані між собою трійковими дебруїнівськими зв'язками

Таблиця 6

Характеристики першої запропонованої топології

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
21	5	4	3,385711	420	1,69286	20
63	6	7	4,081413	2646	1,16612	42
189	7	8	4,849544	10584	1,21239	56
567	8	8	5,654383	36288	1,4136	64
1701	9	8	6,515968	122472	1,62899	72
5103	10	8	7,423336	408240	1,85583	80

Четверта запропонована топологія: **Декартовий добуток двійкового дерева та графа де Бруїна з двійковими зв'язками.**

Особливістю декартового добутку як способу синтезу нової топологічної організації є те, що відомо, яким чином зростають показники, або яка залежність існує між рангом (етапом масштабування) топології та показниками. Таким чином, можна аналітично передбачити які характеристики матиме отримана топологія на будь-якому з етапів масштабування. З цього випливає інша особливість, якщо топологія А та топологія В мають сталу ступінь, то утворена топологія С також матиме сталу ступінь на будь-якому з кроків. У результаті, утворена топологія на основі А та В може мати покращені характеристики, зберігаючи відмовостійкі властивості, які нас цікавлять. А саме, збереження достатньо невеликого ступеня в інтервалі від 4 до 6 та зменшення діаметра за рахунок створення додаткових зв'язків (рис. 6, табл. 7).

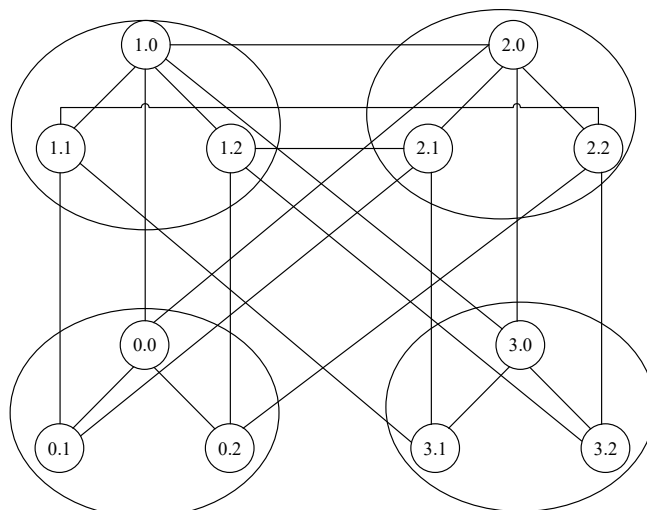


Рис. 6. Двійкові дерева помножені на граф де Бруйна з двійковими зв'язками

Таблиця 7

Характеристики декартового добутку двійкового дерева та графа де Бруйна з двійковими зв'язками

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
12	4	5	2,19697	240	0,87879	20
56	7	7	3,703896	2744	1,05827	49
240	10	7	5,513354	16700	1,57524	70
992	13	7	7,621867	90272	2,17768	91
4032	16	7	9,986001	451584	2,85314	112

Зауважимо, що в даному способі ступінь дерева на кожному кроці масштабування менше на один, ніж ступінь графа де Бруйна.

П'ята запропонована топологія: **Трійкове дерево з трійковими дебруйнівськими зв'язками на кожному ярусі дерева.**

Підхід аналогічний до використаного у другій топології, але замість двійкових дебруйнівських зв'язків, застосовані трійкові дебруйнівські зв'язки. Оскільки дерево трійкове, то на кожному ярусі буде $3^i - 1$ вершин. Також необхідно використовувати саме трійкові дебруйнівські зв'язки для забезпечення зв'язків вершин на ярусі. За схожим до другої топології принципом, вузол p , знаходиться на ярусі $\lfloor \log_3(p) \rfloor = m$. Потім для $3m$ вершин встановлюються трійкові дебруйнівські зв'язки (рис. 7, табл. 8).

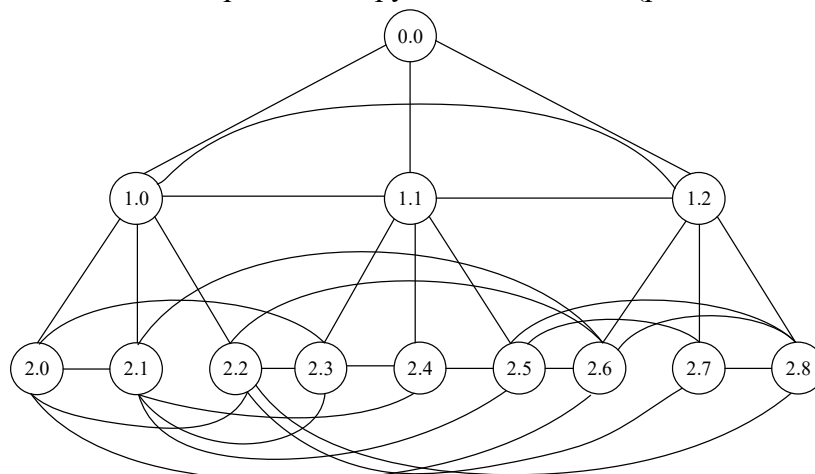


Рис. 7. Трійкове дерево з трійковими дебруйнівськими зв'язками на кожному ярусі дерева

Таблиця 8

Характеристики трійкового дерева з трійковими дебруйнівськими зв'язками

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний трафік	SD
8	3	4	2	96	1	12
26	5	6	3,42462	780	1,14154	30
80	7	6	5,12405	3360	1,70802	42
242	9	6	6,98141	13068	2,32714	54
728	11	6	8,91851	48048	2,97284	66
2186	13	6	10,89222	170508	3,63074	78
6560	15	6	12,88165	590400	4,29388	90

Результати. На рис. 8-13 зображені діаграми топологічних характеристик залежно від кількості вершин. Топології, які розглянуті вище, показані на графіках у відповідному форматі:

Кластери з двійкових дерев, що ієрархічно об'єднані за принципом де Бруйна.

1. Binary Tree Clusters with Hierarchical Binary DeBrujin.

Двійкове дерево з горизонтальними дебруйнівськими зв'язками.

2. Binary Tree with horizontal Debrujin connections.

Двійкові дерева, пов'язані між собою трійковими дебруйнівськими зв'язками.

3. Binary Tree Clusters with Hierarchical Ternary Debrujin.

Декартовий добуток двійкового дерева та графу де Бруйна з двійковими зв'язками.

4. Cartesian Product of Binary Tree and Binary Debrujin.

Трійкове дерево з трійковими дебруйнівськими зв'язками на кожному ярусі дерева.

5. Ternary Tree with horizontal ternary Debrujin connections.

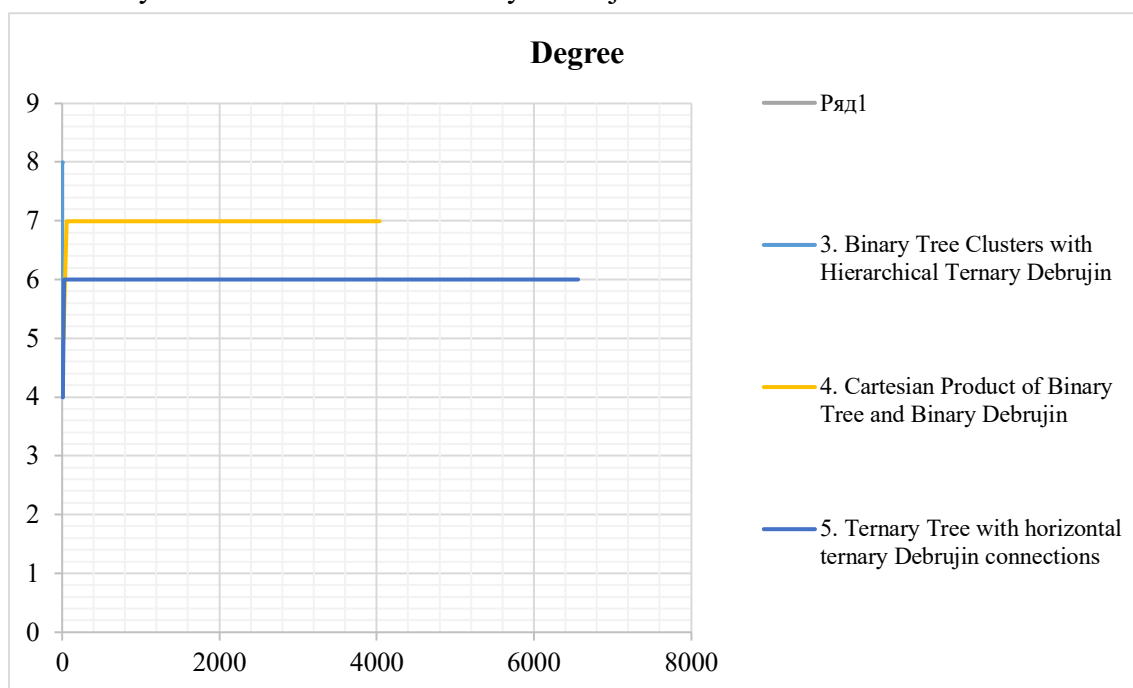


Рис. 8. Графік росту ступеня системи залежно від кількості вузлів

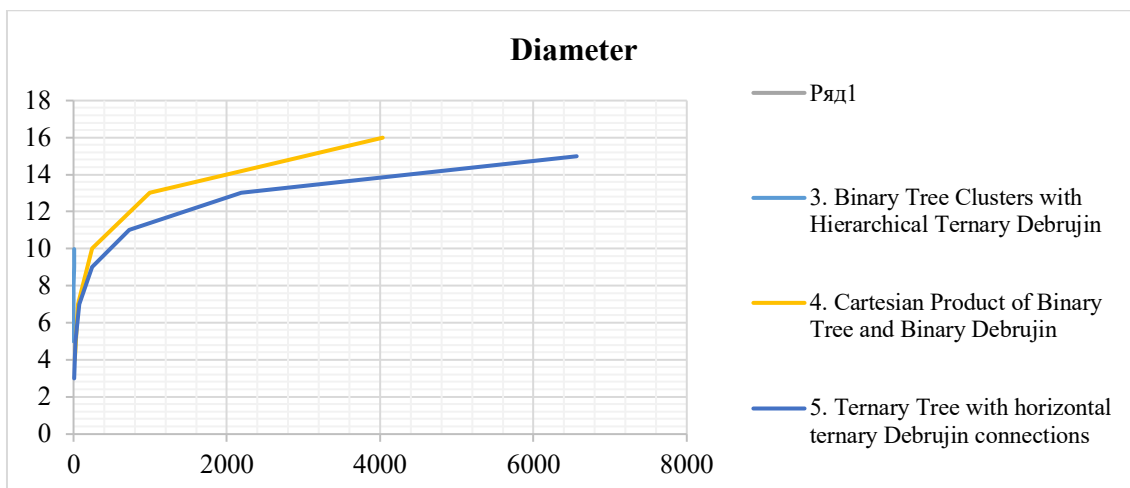


Рис. 9. Графік росту діаметра системи залежно від кількості вузлів

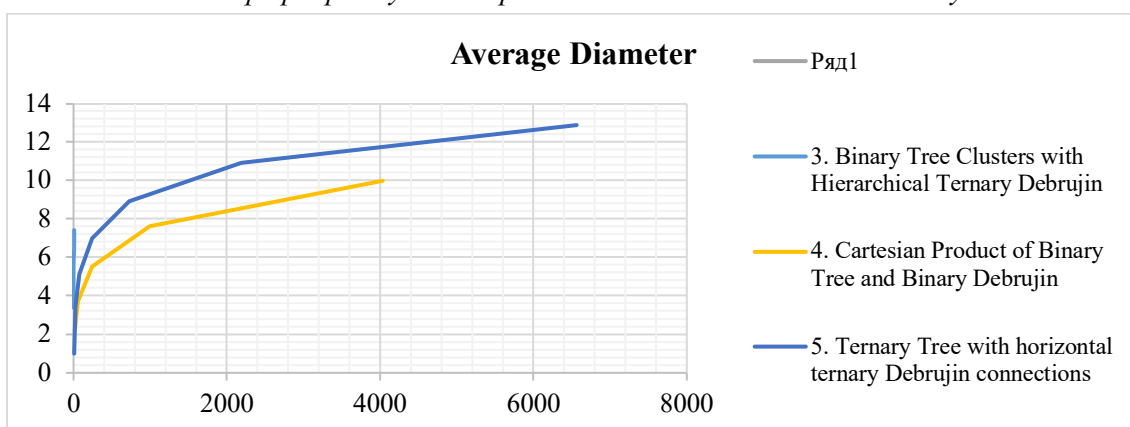


Рис. 10. Графік росту середнього діаметра системи залежно від кількості вузлів

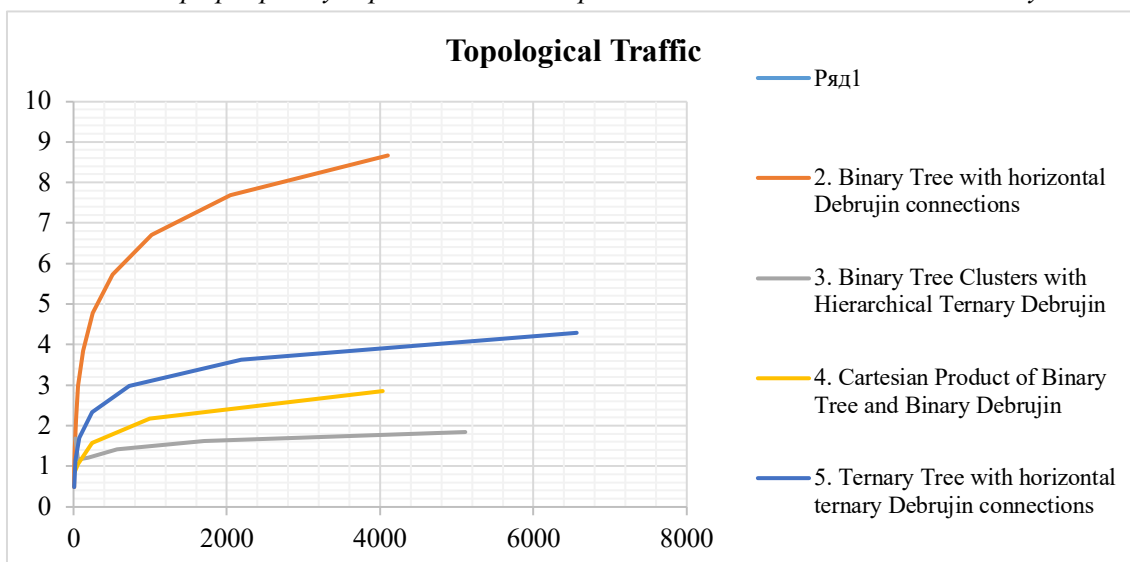


Рис. 11. Графік росту топологічного трафіку системи залежно від кількості вузлів

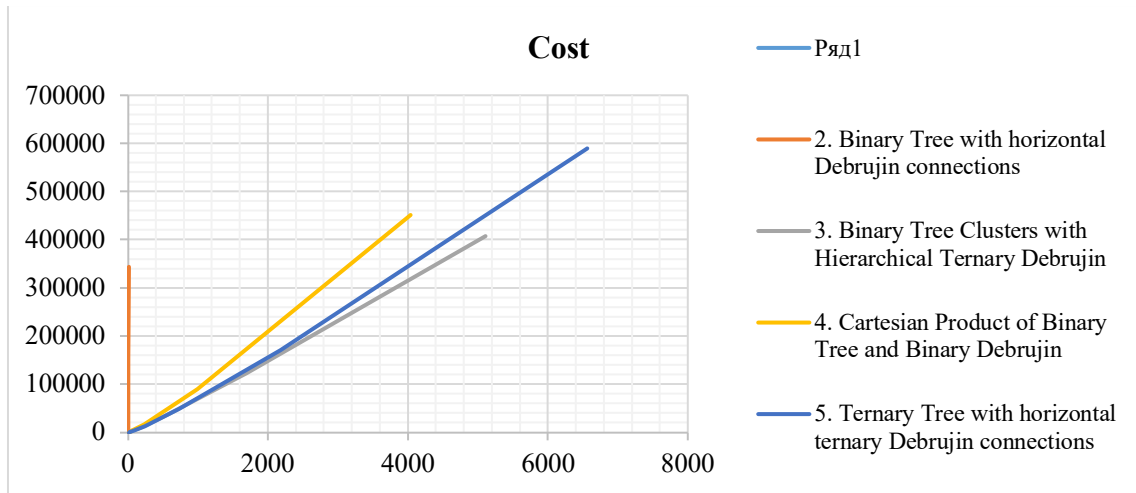


Рис. 12. Графік росту ціни системи залежно від кількості вузлів

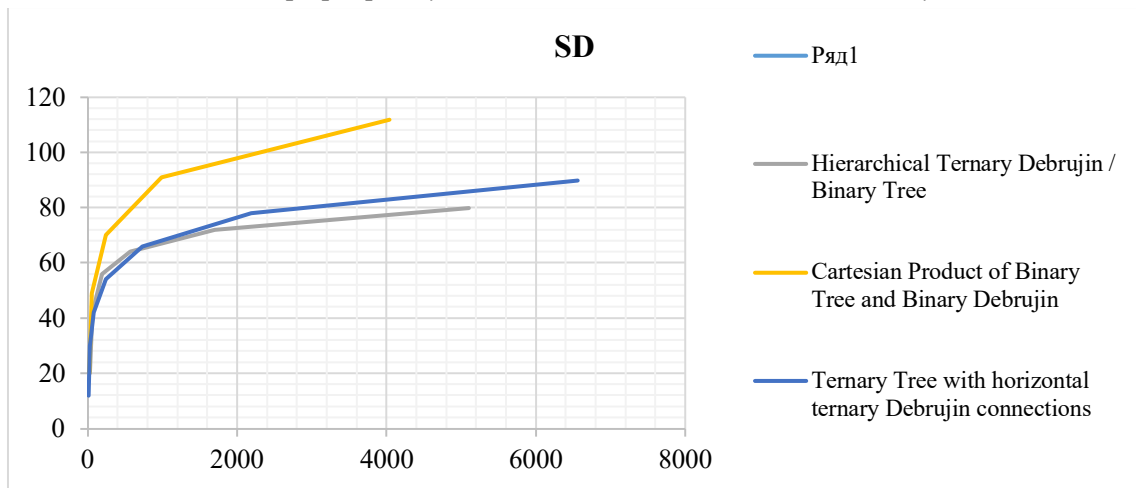


Рис. 13. Графік росту параметра SD системи залежно від кількості вузлів

З графіків можна побачити, як топологічні характеристики представлених організацій змінюються з ростом кількості вершин. Покажемо аналітичні формули для приросту параметрів залежно від кроку масштабування (табл. 9).

Таблиця 9

Таблиця росту топологічних характеристик залежно від кроку масштабування

	К-сть вершин	Ступінь	Діаметр	SD
1	$7 * 2^R$	6	$4+R$	$6(4+R)$
2	2^{R-1}	4	$1+2R$	$4(1+2R)$
3	$7 * 3^R$	8	$4+R$	$8(4+R)$
4	$2^{R * (2^R - 1)}$	7	$1+3R$	$7(1+3R)$
5	$3^R - 1$	6	$1+2R$	$6(1+2R)$

Висновки відповідно до статті. У роботі було розглянуто п'ять топологічних організацій та їх характеристики. У ході розробки способу синтезу нових топологій було встановлено залежність зростання діаметра від обраного способу. Показано, що для ієрархічного підходу, в якому як кластер використовується дерево, а зв'язки встановлюються за допомогою дебруйнівських зсувів, діаметр зростає вдвічі повільніше в порівнянні з деревом із додатковими зв'язками. Також усі топології нарощують кількість вузлів, як ступінь основи системи кодування послідовності де Бруйна.

Перевагами даного підходу є, по-перше, лінійний приріст SD-параметра. Це свідчить про те, що один із показників залишається сталим протягом усіх кроків масштабування, в цьому випадку це показник ступеня. Стала ступінь дозволяє заздалегідь передбачати,

яка максимальна кількість зв'язків буде на будь-якому кроці, і передбачити витрати на мережеве обладнання. Також суттєво зменшився показник діаметра для розглянутих топологій, у порівнянні з деревом.

Існують деякі недоліки, а саме показник топологічного трафіку має значення більше ніж 1, що стверджує про можливе утворення «затопів» пакетів на вузлах. Можливим варіантом покращення показників є використання модифікованих дерев, тобто поєднання одночасно трьох і більше топологій.

Список використаних джерел

1. Alverson R., Duncan Roweth, Larry Kaplan. The gemini system interconnect. *2010 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects*. 2010. Pp. 83-87.
2. Kim John, Wiliam J. Dally, Steve Scott, and Dennis Abts. Technology-driven, highly-scalable dragonfly topology. *2008 International Symposium on Computer Architecture*. 2008. Pp. 77-88.
3. Ajima, Yuichiro, Shinji Sumimoto, and Toshiyuki Shimizu. Tofu: A 6D mesh/torus interconnect for exascale computers. *Computer*. 2009. № 11. Pp. 36-40.
4. Guan K. C., Chan V. W. S. Cost-efficient fiber connection topology design for metropolitan area WDM networks. *OSA Journal of Optical Communications and Networking*. 2009. Т. 1, № 1. С. 158-175.
5. Ganesan Elango, Dhiraj K. Pradhan. The hyper-debruijn networks: Scalable versatile architecture. *IEEE Transactions on parallel and distributed systems*. 1993. № 4.9. Pp. 962-978.
6. Dürr F. (2016). A Flat and Scalable Data Center Network Topology Based on De Bruijn Graphs. arXiv preprint arXiv:1610.03245.
7. Kamal, Md Sarwar, et al. De-Bruijn graph with MapReduce framework towards metagenomic data classification. *International Journal of Information Technology*. 2017. № 9.1. Pp. 59-75.
8. Peng G., Ji P., Zhao F. A novel codon-based de Bruijn graph algorithm for gene construction from unassembled transcriptomes. *Genome Biol*. 2016. № 17. Pp. 232. URL: <https://doi.org/10.1186/s13059-016-1094-x>.
9. Olexandr G., Rehida P., Volokyta A., Loutskii H., Think V.D. Routing Method Based on the Excess Code for Fault Tolerant Clusters with InfiniBand. *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 938. Springer, Cham.
10. Honcharenko O., Volokyta A., Loutskii H. Fault-tolerant topologies synthesis based on excess code usign the latin square. *The International Conference on Security, Fault Tolerance, Intelligence ICSFTI2019, Ukraine, Kyiv, 14-15 May, 2019. Kyiv, 2019*. Pp. 72-81.
11. Loutskii H., Volokyta A., Rehida P.,Goncharenko O. Using excess code to design fault-tolerant topologies. *Technical sciences and technologies*. 2019. № 1(15). Pp. 134–144. DOI: [https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1\(15\)-134-144](https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1(15)-134-144).
12. Loutskii H., Volokyta A., Rehida P., Honcharenko O., Think V. D. Method for Synthesis Scalable Fault-Tolerant Multi-level Topological Organizations Based on Excess Code. *Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEEA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing / Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds.). 2020. Vol. 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_32.*
13. Loutskii H., Volokyta A., Rehida P., Honcharenko O., Ivanishchev B., Kaplunov A. Increasing the fault tolerance of distributed systems for the Hyper de Bruijn topology with excess code. *2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. Kyiv, 2019. Pp.1-6. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030487.

References

1. Alverson, Robert, Duncan Roweth, and Larry Kaplan. (2010). The gemini system interconnect. In *2010 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects* (pp. 83-87). IEEE.
2. Kim, J., Wiliam J. Dally, Steve Scott, and Dennis Abts. (2008). Technology-driven, highly-scalable dragonfly topology. In *2008 International Symposium on Computer Architecture* (pp. 77-88). IEEE.
3. Ajima, Yuichiro, Shinji Sumimoto, and Toshiyuki Shimizu. (2009). Tofu: A 6D mesh/torus interconnect for exascale computers. *Computer*, 11, pp. 36-40.

4. Guan, K. C., Chan, V. W. S. (2009). Cost-efficient fiber connection topology design for metropolitan area WDM networks. *OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 1(1), pp. 158-175.
5. Ganesan, Elango, and Dhiraj K. Pradhan. (1993). The hyper-debruijn networks: Scalable versatile architecture. *IEEE Transactions on parallel and distributed systems*, 4.9, pp. 962-978.
6. Dürr, F. (2016). A Flat and Scalable Data Center Network Topology Based on De Bruijn Graphs. arXiv preprint arXiv:1610.03245.
7. Kamal, Md Sarwar, et al. (2017). De-Bruijn graph with MapReduce framework towards metagenomic data classification. *International Journal of Information Technology*, 9.1, pp. 59-75.
8. Peng, G., Ji, P. & Zhao, F. (2016). A novel codon-based de Bruijn graph algorithm for gene construction from unassembled transcriptomes. *Genome Biol.* 17, p. 232. <https://doi.org/10.1186/s13059-016-1094-x>.
9. Olexandr, G., Rehida, P., Volokyta, A., Loutskii, H., Thinh, V. D. (2020). Routing Method Based on the Excess Code for Fault Tolerant Clusters with InfiniBand. *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 938. Springer, Cham
10. ncharenko, O., Volokyta, A., Loutskii, H. (2019). Fault-tolerant topologies synthesis based on excess code usign the latin square. *The International Conference on Security, Fault Tolerance, Intelligence ICSFTI2019* (pp. 72-81).
11. Loutskii, H., Volokyta, A., Rehida, P., Goncharenko, O. (2019). Using excess code to design fault-tolerant topologies. *Technical sciences and technologies*, 1(15), pp. 134-144. DOI: [https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1\(15\)-134-144](https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1(15)-134-144).
12. Loutskii, H., Volokyta, A., Rehida, P., Honcharenko, O., Thinh, V. D. (2020). Method for Synthesis Scalable Fault-Tolerant Multi-level Topological Organizations Based on Excess Code. In Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds.), *Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_32.
13. H. Loutskii, A. Volokyta, P. Rehida, O. Honcharenko, B. Ivanishchev and A. Kaplunov (2019). Increasing the fault tolerance of distributed systems for the Hyper de Bruijn topology with excess code. *2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. (pp. 1-6). DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030487.

UDC 004.75

Volodymyr Rusinov, Bohdan Ivanishchev, Andrii Antoniuk, Artem Volokyta, Heorhii Loutskii

METHODS OF TOPOLOGICAL ORGANIZATION SYNTHESIS BASED ON DE BRUIJN CODE TRANSFORMATIONS

Urgency of the research. Today, topological organizations such as trees, fat trees, 3D-mesh, 6D-tor, DragonFly are used as a way of network organization in data centers. All these topologies have fault-tolerant properties due to the presence of several alternative routing paths. Therefore, the task of developing new topologies that have many balanced routes (one cost path) is relevant. One of the best options for research on tree topology improvement is the combination with de Bruijn graphs in different number systems, which allows varying the degree of vertices, diameter and number of alternative paths for routing. This paper proposes a new way to obtain specified characteristics when combining tree-based topologies with a de Bruijn graph.

Target setting. When creating high-performance computing systems, it is important to develop their topological organizations in advance, which allows in time to anticipate the characteristics of the system.

Actual scientific researches and issues analysis. At present there are a number of works devoted to topologies based on de Bruijn sequences. There is a detailed review of the synthesis of hybrid topologies based on de Bruijn graphs and hypercube.

Uninvestigated parts of general matters defining. The possibility of using hybrid topologies based on de Bruijn sequences and different types of trees remains unexamined at present.

The research objective. The tasks are to develop a way to synthesize new topologies based on trees and de Bruijn sequences and to analyze the characteristics of the synthesized topological organizations for different levels of fault tolerance.

The statement of basic materials. The synthesis of five topologies based on trees and de Bruijn sequences is described. A comparative analysis of all synthesized topologies is performed.

Conclusions. An analysis of the characteristics is performed, the main advantages and disadvantages of the proposed topological structures are highlighted, and suggestions for their improvement are made.

Keywords: de Bruijn graph; topology; fault tolerance.

Fig.: 13. Table: 9. References: 13.

Русінов Володимир Володимирович – здобувач вищої освіти, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Rusinov Volodymyr – student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: volodymyr.r.v@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4362-0248>

Іванішев Богдан Вячеславович – асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Ivanishchev Bohdan – assistant, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: ivanishchev@comsys.kpi.ua

ORCID: <http://orcid.org/000-0003-4726-0689>

Антонюк Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Antonuk Andrii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: ant5298g@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7134-6100>

Волокита Артем Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Volokyta Artem – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: artem.volokita@kpi.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9069-5544>

Scopus Author ID: 54421406500

Луцький Георгій Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Loutskii Heorhii – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: georgijluckyj80@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3155-8301>

Scopus Author ID: 16473143100

UDC 004.382.7

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-145-149

Patrik Šarga, Dušan Šimšik, Juraj Pavuk

REALIZATION OF PHOTO BOOTH BY RASPBERRY PI

Urgency of the research. Nowadays, the deployment of low-cost platforms, such as Raspberry Pi is applied not only in educational or hobby projects, but it finds application also in industry or various commercial products. Therefore, it is crucial to explore the possibilities of using such low-cost systems.

Target setting. The research aimed to create a "low-cost" photo booth that would be comparable or better in parameters to commercial solutions, but at a much lower cost.

Actual scientific researches and issues analysis. When designing the system and preparing this paper, we considered both current sources – publications and papers dealing with the current state of development of the photo booth as well as existing solutions, which are available on the market.

Uninvestigated parts of general matters defining. The created photo booth solution currently neither have printing applied, nor send the resulting photos to email or cloud automatically. It will be implemented in the next stage of development.

The research objective. The purpose of this article is to explain how we can create original photo booth using Raspberry Pi platform.

The statement of basic materials. We used single-board low-cost microcomputer Raspberry Pi, and in combination with a camera, we made a photo booth. For this system, we created a control program in the Python environment, which is one of the most widespread programming languages and finds application in various areas.

Conclusions. Using the Raspberry Pi and the camera, we created a fully functional photo booth qualitatively comparable to commercially available products at a much lower price.

Keywords: Raspberry Pi (RPi); Python; Photo booth.

Fig.: 8. **References:** 12.

Introduction. A photo booth is an automatic device or kiosk that uses an automatic process to take photos of an individual or a group of people. It can create a single photo or a series of photos. Photo booths can be divided into two categories. Enclosed photo booths are often used in public spaces. The image size of the photo is from the waist up and is mostly used for use in documents.

Newer types of cabins are open photo booths, which can take photographs of a larger number of people. It is a small box, which is very easy to operate with one touch. Either a single photo or a series of multiple photos is created. If a series of photos are created, there is a pause of a few seconds between each photo to change poses or exchange props. Numerical countdown signals about this pause on display or a LED before the next photo is taken. The photos can be sent by e-mail, printed on-site, or sent via MMS. This type of photo booth should include an extensive display so that all customers can see the timer or live preview of photos. Such photo booths are mostly used at weddings, parties, corporate events, festivals, and other social events [1].

Our goal was to create an open photo booth. Before presenting our own solution, we will give examples of commercially available photo booths.

HootBooth® DSLR EventPRO Augmented Reality Photo Booth. This photo booth (Fig. 1) is produced by Hootbooth, based in the United States. It includes a 12.3" touch screen monitor in the form of a Microsoft Surface Pro 6 tablet with an i5 processor and uses the Windows operating system. Photos are taken with the Canon EOS M50. Its stand is made of steel, and the packaging of all hardware components is made of aluminium. This photo booth weighs approximately 12.2 kg [2].



Fig. 1. HootBooth® DSLR Event PRO Augmented Reality Photo Booth [2]

The main advantage of this product is its compactness and easy installation, which, according to the manufacturer, should take about 5 minutes. The disadvantage could be considered a relatively small display, which is limited by the maximum size of manufactured tablets. This photo booth price is relatively high, in the version without a printer costs 7699 EUR and the one with a printer – 8449 EUR.

FB-003 Classic. It is a product of the Polish company Photo Booth Europe (Fig. 2). This device contains a 15" touch screen from ELO and a mini-computer of various configurations (CPU i3/i5/i7, 120/240GB SSD, 4/8GB RAM) with OS Windows 10. The Canon 2000D camera is installed in the photo booth. The photo booth also includes a DNP DS-RX1HS printer. The product uses LED lights around the monitor to illuminate the subject. The price of this model starts at 4500 Euros [3].

The main advantage of this product is printer included in standard equipment and the variability of the computer configuration. The significant disadvantage of this device is the weight, as the stand weighs 30kg and the packaging of components 27kg, which is in total 57kg. Another disadvantage is the large size of 65×47×172 cm.

Topfotobúdka FT1. It is a photo booth (Fig. 3) of Slovak origin, manufactured by ADAMASS s.r.o. Among all compared photo booths, this model has the largest 17" display from IIYAMA. However, it also includes a more massive HP 260 W10 computer. It uses a Canon 250D digital camera and a HITI printer. It uses LED lighting around the display. The price of the photo booth is about 4700 Euros [4].

The advantage over previous devices is that it contains the largest display, which will be appreciated by the photographed persons, especially if they will take pictures in larger groups. FT1 contains a printer at the start price. The disadvantage is the biggest dimensions of 60×45×170 cm and also the highest weight of all the presented solutions (approx. 80 kg).

Our solution – hardware. Our goal was to create a cheaper device that would be more compact and at the same time with a lower weight, while the function and operation of the photo booth would be comparable to commercial models. For this purpose, we chose as the control unit, the Raspberry Pi microcomputer (Fig. 4) with the Raspbian operating system [5]. Other components used were Nikon D4 camera, Asus VT 229H touchscreen LCD monitor, memory card, connecting cables, lighting, mouse and keyboard. The control software was created using the Python programming language.

The Raspberry Pi is a single-board low-cost microcomputer with a size 85×56 mm and approximately 20 mm thick, almost like a credit card. This small computer is an exposed motherboard on which hardware components are mounted, and its performance can be compared to a weaker desktop computer. It was designed primarily for teaching programming. Any operating system compatible with the ARM platform can be installed on it, but it must be taken into account that the RPi does not contain any hard disk or SSD disk. By connecting various external components, we can modify it for a specific environment and purpose [5].



Fig. 2. FB-003 Classic [3]



Fig. 3. Topfotobúdka FT1 [4]

After consideration of the financial costs, weight and dimensions, we chose the Raspberry Pi 2 Model B microcomputer (Fig. 4), which we had available for the implementation of the photo booth. The benefits of the newer version of RPi were not significant enough for our project to be invested in. We used the Raspbian operating system for the selected RPi [7]. This operating system is free. It is based on Linux, so it is also suitable for computers with lower performance.

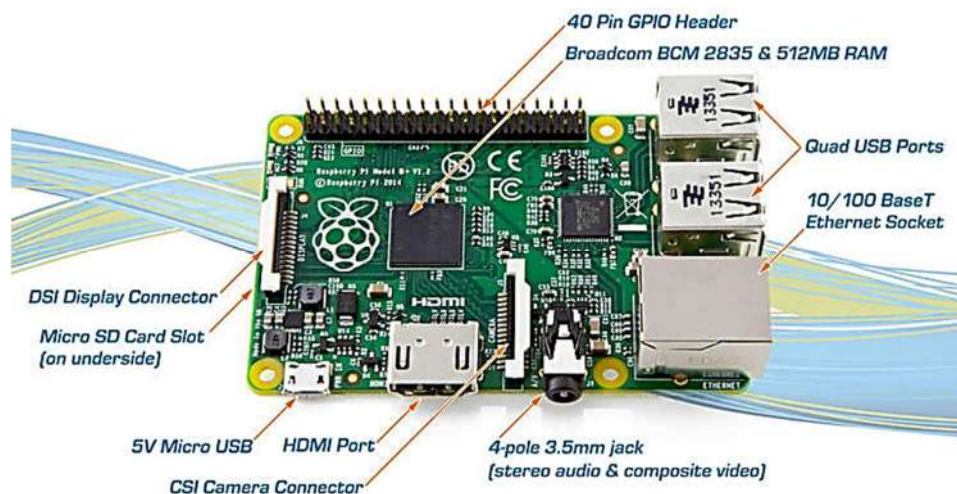


Fig. 4. Raspberry Pi 2 Model B [6]

We applied the Nikon D4 camera that we had available. If we had to buy a new camera, we would use, for example, a Canon 2000D camera, which can be bought with a lens for 400 Euros.

As a display device, we used a 21.5" touch monitor Asus VT 229H, and its current price is 220 Euros. This monitor is intended to show a preview before shooting, inform about the status of the system and allow controlling the entire environment.

Other hardware components such as Micro-SD memory card, a mouse with keyboard and connecting cables were used.

The final set of the photo booth. In Fig. 5, we can see all the hardware components connected. The total cost of new components for the photo booth we have built (without the cabin) would be about 750 Euros. The estimated price of the photo booth cabin made of wood would be approximately 250 Euros. Its design is displayed in Fig. 6 – its dimensions are 60x60x23cm, estimated weight is about 13 kg.



Fig. 5. The final set of the photo booth

Our photo booth would cost several times less than commercially available photo booths. The great advantage of our device is also a larger display than the commercially available photo booths have, and at the same time, it is not heavy.



Fig. 6. Design of the case of the photo booth: front and back view

Our solution - software. The Python programming language was used to create a control program for our photo booth. It is a universal programming language that is used to create modern applications related to data analysis, media processing and other operations. This programming language works on various platforms such as Windows, Linux, Mac or even Raspbian. In our specific case, we used Python version 3.7.3 [8; 9; 10]. The resulting program has the task of providing communication between RPi, camera, monitor, mouse, keyboard, or printer, respectively implement photo sending to mail/internet storage. An important function is also communication with the user of the photo booth via the created GUI.

The resulting program contains several subroutines. They had to import and configure libraries as well as hardware. Communication between RPi and the used camera is realized in the subroutine camera.py (Fig. 7), in which the program gphoto2 is implemented [11]. At the same time, the camera.py subroutine must be able to solve situations in which the camera does not cooperate. After setting all parameters in individual subroutines, a graphical interface was created, which provides control and communication with the user. Subsequently, it was necessary to fine-tune the operation of the program for various error messages [12].

```
import subprocess
# Načítanie OpenCV
try:
import cv2 as cv
cv_enabled = True
except ImportError:
cv_enabled = False
# Oprava fotoaparatu
class CameraException(Exception):

def __init__(self, message, recoverable=False):
self.message = message
self.recoverable = recoverable

# Nacitanie pixelov z fotaku
class Camera_cv:
def __init__(self, picture_size):
if cv_enabled:
self.cap = cv.VideoCapture(0)
self.cap.set(3, picture_size[0])
self.cap.set(4, picture_size[1])
# Uloženie fotky
def take_picture(self, filename="/tmp/picture.jpg"):
if cv_enabled:
r, frame = self.cap.read()
cv.imwrite(filename, frame)
return filename
else:
raise CameraException("OpenCV NEDOSTUPNE!")

class Camera_gPhoto:
"""gphoto2, ktoré bude fotoaparát využívať na fotenie"""
def __init__(self, picture_size):
self.picture_size = picture_size
# možnosti pripojenia fotaku
```

Fig. 7. Sample of the subprogram camera.py [12]

Testing functionality of the photo booth. After starting the program, the number of photos was set, for example, of four pieces. A preview of the captured object was displayed. When the shooting was activated, the program counted down and took a picture. This cycle was repeated four times with a 5 seconds pause between each shoot. As a result, four photographs were taken. They were compiled into a collage according to our prescribed rule, then displayed on the monitor and saved on the RPi disk (Fig. 8). Testing verified the full functionality of our solution.

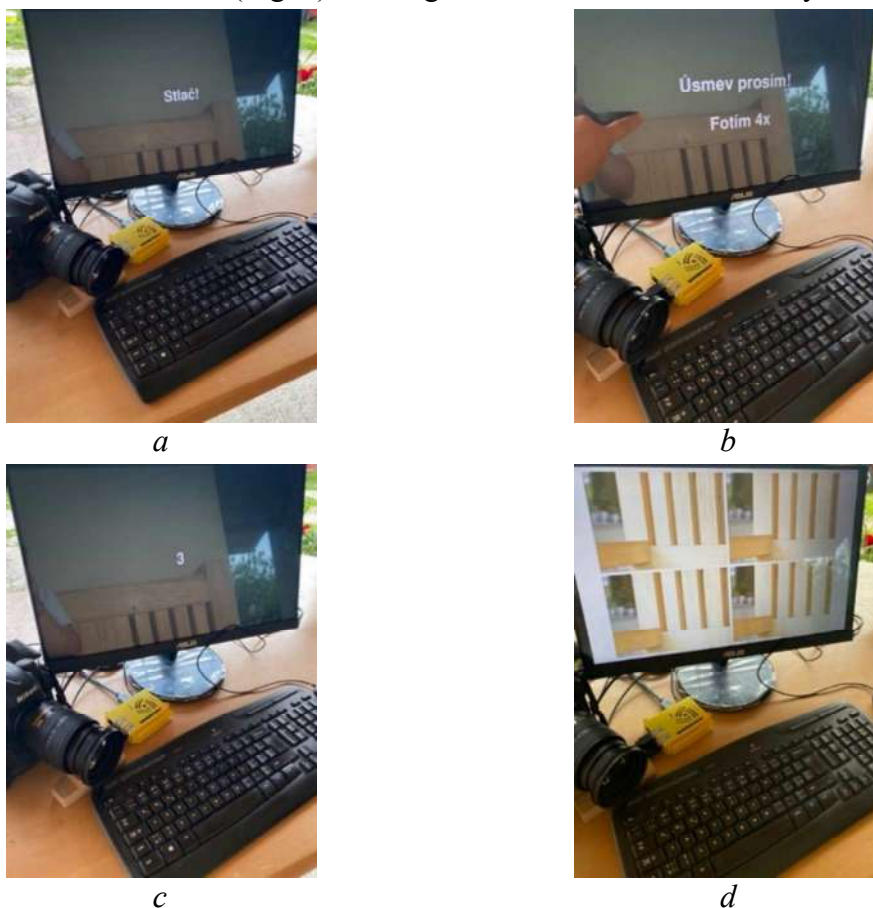


Fig. 8. Practical test [12]

Conclusions. This article aimed to present the possibility of deploying the low-cost platform RPi in devices where standard computers are commonly used. We were able to prove compatibility between RPi with components such as camera and touch screen. The result is a fully functional photo booth, with a control program created in Python. With a little improvement, adding an external flash, printer, our photo booth could replace commercial photo booth. Compared to other commercially available devices of this type, we found that our solution has a much lower weight and also several times lower price [12].

Acknowledgement. This work was supported by grant project VEGA 1/0330/19.

References

1. Abella M. (2020), Snaps Through History: Origins of the Photo Booth Retrieved from <https://1000wordsevents.com/snaps-through-history-origins-of-the-photo-booth/> [in English].
2. HootBooth® DSLR EventPRO Augmented Reality Photo Booth (2020), Retrieved from <https://hootboothphotobooth.com/products/dslr-eventpro-augmented-reality-photo-booth?variant=33870965801099> [in English].
3. FB-003 Classic (2020), Retrieved from <https://www.photoboothurope.com/fb-003-classic/> [in English].

4. Topfotobúdka FT1 (2020), Retrieved from <https://www.topfotobudka.sk/eshop/topfotobudka-eshop/> [in Slovak].
5. What is a Raspberry Pi? (2020), Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/> [in English].
6. RaspberryPI 2 Model B (2020), Retrieved from <https://raspberrypi.stackexchange.com/questions/27765/raspberry-pi-2-has-a-unified-rca-and-audio-jack-what-cable-should-i-use-to-conn> [in English].
7. Raspberry Pi OS (2020), Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/documentation/raspbian/> [in English].
8. Bradbury, A., Everard, B. (2014) Learning Python with Raspberry Pi, ISBN: 978-1118717059 [in English].
9. Matthes, E. (2019), Python Crash Course, 2nd Edition: A Hands-On, Project-Based Introduction to Programming, ISBN: 978-1593279288 [in English].
10. Ramalho, L. (2015), Fluent Python: Clear, Concise, and Effective Programming, ISBN: 978-1491946008[in English].
11. Gphoto2 (2020), Retrieved from <https://pypi.org/project/gphoto2/> [in English].
12. Pavuk, J. (2020), Návrh a realizácia fotografickej kabíny pomocou Raspberry Pi, Košice [in Slovak].

УДК 004.382.7

Патрик Шарга, Душан Шимшик, Юрай Павук

РЕАЛІЗАЦІЯ ФОТОКАБІНИ НА ПЛАТФОРМІ RASPBERRY PI

Актуальність теми дослідження. У наш час використання недорогих одноплатних комп'ютерів, таких як Raspberry Pi, відбувається не лише в освітніх та хобі-проектах, але також і у промисловості та комерційних продуктах. Саме тому надзвичайно важливо дослідити можливості використання таких недорогих систем.

Постановка проблеми. Метою дослідження був аналіз існуючих рішень та розробка дешевої фотокабіни, яка за параметрами була б порівнянна або краща за комерційні рішення, але з набагато дешевше.

Аналіз досліджень і публікацій. При розробці нашого рішення та підготовці цієї статті ми врахували як поточні джерела - публікації та статті, що стосуються сучасного стану розвитку фотокабіни, так і існуючі рішення, доступні на ринку.

Виділення досліджених частин загальної проблеми. Нині у створеному рішенні для фотокабін не здійснюється друк, а також автоматично не надсилаються отримані фотографії на електронну пошту чи в хмару. Це буде впроваджено на наступному етапі розробки.

Постановка завдання. Мета цієї статті – пояснити, як ми можемо розробити оригінальну фотокабіну за допомогою платформи Raspberry Pi.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої задачі ми використовували недорогий одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi, та для розробки фотокабіни поєднали його з фотокамерою. Для керування було розроблено програму в середовищі Python, яка є однією з найпоширеніших мов програмування і знаходить застосування в різних сферах.

Висновки відповідно до статті. Використовуючи Raspberry Pi та фотокамеру, було розроблено повнофункціональну фотокабіну, яку порівняно з комерційними продуктами, і яка має значно нижчу вартість.

Ключові слова: Raspberry Pi (RPi); Python; фотокабіна.

Рис.: 8. *Бібл.:* 12.

Patrik Šarga – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automation and Human Machine Interactions, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice (Letná 9 Košice, Slovakia).

E-mail: patrik.sarga@tuke.sk

ScopusAuthor ID: 15128102900

Dušan Šimšík – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automation and Human Machine Interactions, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice (Letná 9 Košice, Slovakia).

E-mail: dusan.simsik@tuke.sk

ScopusAuthor ID: 6602121842

Juraj Pavuk – student of mechanical engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice (Letná 9 Košice, Slovakia).

E-mail: juraj.pavuk@student.tuke.sk

UDC 621.941-229.3:621.822.172

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-150-155

Marek Vagaš, Jaroslav Šeminský

APPROACHES FOR THE 3D CAMERA SYSTEM IMAGE PROCESSING AT AUTOMATED WORKPLACES

Urgency of the research. It is important to point out the application possibilities of the 3D camera system at the automated workplaces. At the same time, we want to provide an overview of the principles of 2D and 3D image processing.

Target setting. Purpose of the article is to give some form of instruction on correct approach of visioning that can be applied at the automated workplace.

Actual scientific researches and issues analysis. Currently, there are already many innovative and user-friendly 3D and 2D camera solutions. Due to its prices, it is necessary to realize a well-priced solution that can be affordable for the smallest companies.

Uninvestigated parts of general matters defining. The manufacturer's dealing with the image processing and vision system as a whole, provides an expensive and (obviously) closed solution of image processing without any adjusting. Therefore, we consider it is necessary to address at this issue.

The research objective. The aim of article is to provide the price-affordable solution based on the two CCD cameras that will be implemented at automated workplace.

The statement of basic materials. For realization of such cheaper solution is good to have a suitable example how to solve image processing and data collection based on process adjusting.

Conclusions. Published article presents the price-affordable solution that can be applied at the automated workplace. Presented article provides a closer view to some image processing solution regarding the target object capturing that are not often and sufficient described by manufacturers.

Keywords: vision system; camera; automated workplace.

Fig.: 2. **References:** 12.

Introduction. Existing classical approaches and techniques for the determination of some necessary sensing object characteristic did not meet the relevant customer needs [1]. Existing classical approaches and techniques for determination of the some necessary sensing object characteristic did not meet relevant needs of the material engineering and end customers, as a whole. 3D vision sensor as the main representative of vision systems is an important device for the automated manufacturing workplaces for enlargement of its peripheral abilities and possibilities in the sense of industry 4.0 concept. Currently ongoing research and the development in this area is focused on the determining the parameters of a 3D model based on at least two image signal sensors (cameras), from which it is possible to the subsequently compile the necessary process data of the scanned object. Beside this, in all technological processes can be a situation when the non-oriented objects are at the workplace output, the standard workplace program process cannot be used and the palette deployment are nonsystematic [2].

In such (and similar) cases, it is suitable to determine the properties of objects that are stored on the pallet by the CCD camera usage. Standard industrial CCD camera are sensing and transmit the recorded image by its interface such as Camera Link or IEEE 1394, into the connected PC or into the next advanced systems for image processing. This obtained images are subsequently evaluated with regards to the necessary information extraction of the relevant scanned object. In addition, the intelligent cameras still more and more supports the material engineering and simplified it, because the image analyzing are realized directly inside the camera system. Their core is usually equipped by the processor that is responsible for whole algorithm set needed for sensing. Image sensor which is used inside the intelligent cameras are in basic a high quality CCD sensor that are able to sense a monochromatic pictures in necessary resolution with the sufficient speed (60 per sec). It can produce a sharp image that lead to the increasing of algorithms precision such as "edge detection" and "pattern recognition". Such intelligent vision system (camera) can be useful in order to the provide a faithful information about the sensing objects followed by the data sending directly to the control system of robotic arm with the requirement to correct object gripping [3].

The ratio between the prices of visual system versus its achieved qualitative contribution in the technology manufacturing gradually stabilized into a form of innovative and nonconventional solution based on the higher processors for data flow processing and the image information with higher computing power. Therefore, it can be stated that the vision systems are

nowadays considered as a standard device at almost every bigger manufacturing workplaces [4]. In addition, where it is necessary to implement a total check of the individual object (TQM) are the vision systems right thing for their irreplaceable ability. Their most often usage is in the object quality check with respect to their parameters, see Fig. 1. Obviously, object quality check is realized via comparison of its shapes and geometric characteristics with etalon. This necessary information is stored inside the vision system before its calibration.

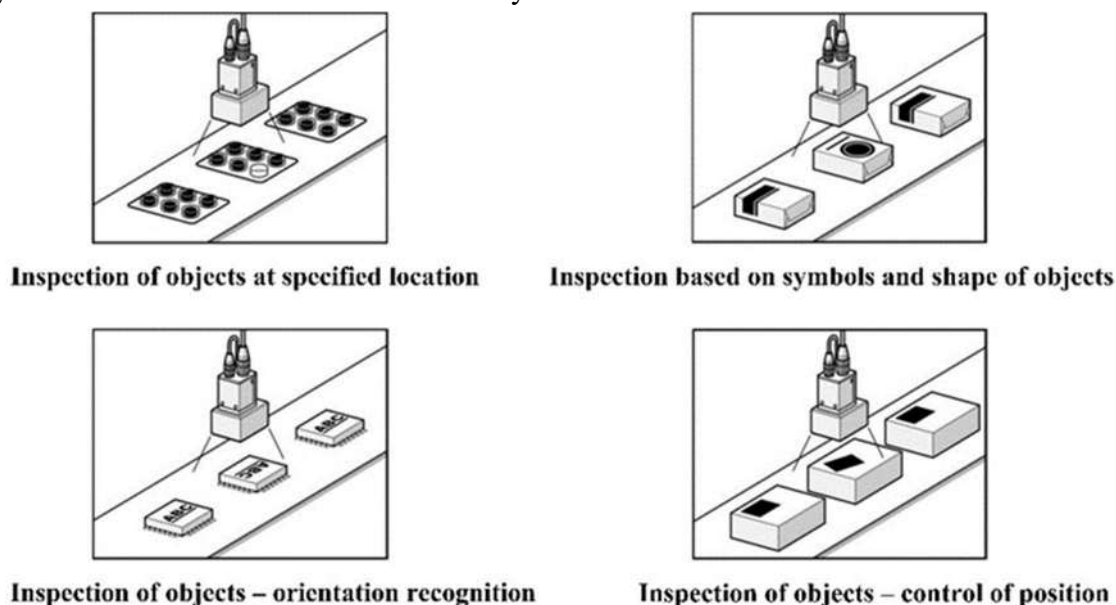


Fig. 1. Examples of vision system usage

Approaches of the image processing. In general, current approaches for solving of the image processing at vision systems are focused on the positions determination for the individual object parameters followed by the pairing of obtained results [5]. Subsequently, based on this information we can determine a geometric imagination about sensing object together with its parameters [6]. Next step suppose a reference plane translation at any distance in the horizontal direction „x“ and simultaneously realizing of a measurement at this place with the determination of relevant value for the translation (in pixels). By further calculations can be determine a precise distance from the CCD sensor and the sensing object. One condition for this process is the immobilization of both coordinate axis „x and „z“. Basic geometrical principle of 3D vision systems leads at least on two CCD camera sensors that are mounted side by side. Object that is under the these cameras will be scanned and digitizing, together with the fulfilling of the requirement that suppose intersection of object capture directions, while its axes are parallel [7]. CCD camera sensor distance from the target (object) is later possible determine as a ratio between the distance of these sensors „b” and distance from its reference plane „r” to the absolute value between the measured translation „a and „c”, so:

$$Z = \frac{(b \times r)}{|a - c|} \tag{1}$$

where b – Distance between the camera1 and camera 2; r – Distance between the reference and visual plane; a – Measured displacement of camera1; c – Measured displacement of camera2.

We also take into the account a following properties that are relevant during the image processing:

- Resolution of the obtained picture.
- Number of the pictures per second.
- Information stability about the picture intensity and colour.

2D camera system usage approach. With this type of visioning is needed the initial calibration of both camera systems in such way that were successfully obtain a necessary information about the sensing objects. It is possible to reach by the setting of CCD camera internal parameters (calibration matrix, distortion coefficient) together with the external parameters (mutual position and orientation of the CCD cameras). Epipolar geometry (geometry that are focused at the relationships of the sensing pictures of both CCD cameras) helping for evaluation of 3D points that can are estimated from the information about the points position at both CCD cameras [8]. So, we can say that during our determination of searched point $m = [x', y', l]$ from obtained picture followed equation is applied:

$$m = P \times M. \quad (2)$$

While point „ m “ can be considered as picture of point „ M “ in the plane of projection (therefore, in the plane of sensing area in a way that can be captured by the camera system). Projection matrix dimension „ P “ has value 3x4 and describe an relationship between the real point and the captured are point:

$$P = K \times [I, 0]. \quad (3)$$

While, dimension calibration matrix „ K “ has value 3x3 and describe the environment coordinates to the camera system coordinates, squared unit matrix is „ I “, 3x3 is dimension and „ 0 “ is zero column.

$$K = \begin{bmatrix} a_x & c & t_x \\ 0 & a_y & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

where a – Direction scaling in axes „ x “ and „ y “ with relationship to vision system; t – Intersection of vision plane and optical axis; c – Distortion parameter (usually = 0).

Projection matrix „ P “ can be in general different from the higher written representation about the value of translation and orientation to the coordinate system. Based on this assume is added a transformation matrix for the camera system coordinate to the environment system:

$$P = K \times [I, 0] \times \begin{bmatrix} R & RC' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

While,

R – Matrix with the dimension 3x3 that describes the rotation.

C' - Vector of translation regarding to the environment system.

In a such way is needed to determine the relationship that for point „ m “ from first captured picture allocate point „ m' “ from the second captured picture. For both these points we assume a followed fundamental matrix „ F “ with dimension 3x3, while:

$$m'^T \times F \times m = 0. \quad (6)$$

Also, we suppose that one of projection matrix will be situated directly at the beginning of coordinate system, so any translation and rotation cannot be created – the sufficient solution consists of determination for the second projection matrix from the second CCD camera system in the following form:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Projection matrices must be tested in the any point and select the correct one, it means – the point must lay before both CCD camera systems. Subsequently, by the linear method for the triangulation is possible to realize coordinate of points - and that way can be determined the linear equations:

$$\begin{bmatrix} xp^{3T} & -p^{1T} \\ yp^{3T} & -p^{2T} \\ x'p'^{3T} & -p'^{1T} \\ y'p'^{3T} & -p'^{2T} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Basically, for the 3D position of sensing object lay key factor in the captured picture transformation in a way of each individual paired points has the same „y“ coordinate. After that is just to locate the corresponding point in the corresponding row for the second CCD camera. Obviously, it is recommended that the pre - processing followed by standard processing of captured picture is needed (negative properties removing) [9].

3D camera system usage approach. This type of the visioning with single 3D camera system consists of captured picture transformation and decomposition in a way that can be stated an individual parameters and properties of the sensing object. [10]. Information which were captured by this principle serves for the determination and calculation of the 3D points. Based on this can be evaluated the dimensions, thickness, position and orientation of the sensing object. Any distortions that may occurred from the CCD camera system lens together with the picture deformation can be removed by correction and measurement of the distorted pictures followed by its repairing. Correction are evaluated with the help of calibration. Thanks to the geometric dependence between the sensing object, CCD camera system and by the comparison with CAD model is possible determine sensing object position and orientation [11].

Setup of the vision system. Setup of vision system are focused to the interconnection with help of the available communication protocols and interfaces so that will ensure a reliable communication between the control system of robotic arm and the vision system. Existing communication interfaces are created based on the connectivity and the topology as *Ethernet*, *RS232*, *RS485*, *RS422*, *CAN-bus*, and *PROFIBUS*. From the software point of view, is for robotic arm necessary libraries presence together with the reliable functions for the communication (*with the vision system*) inside their control system.

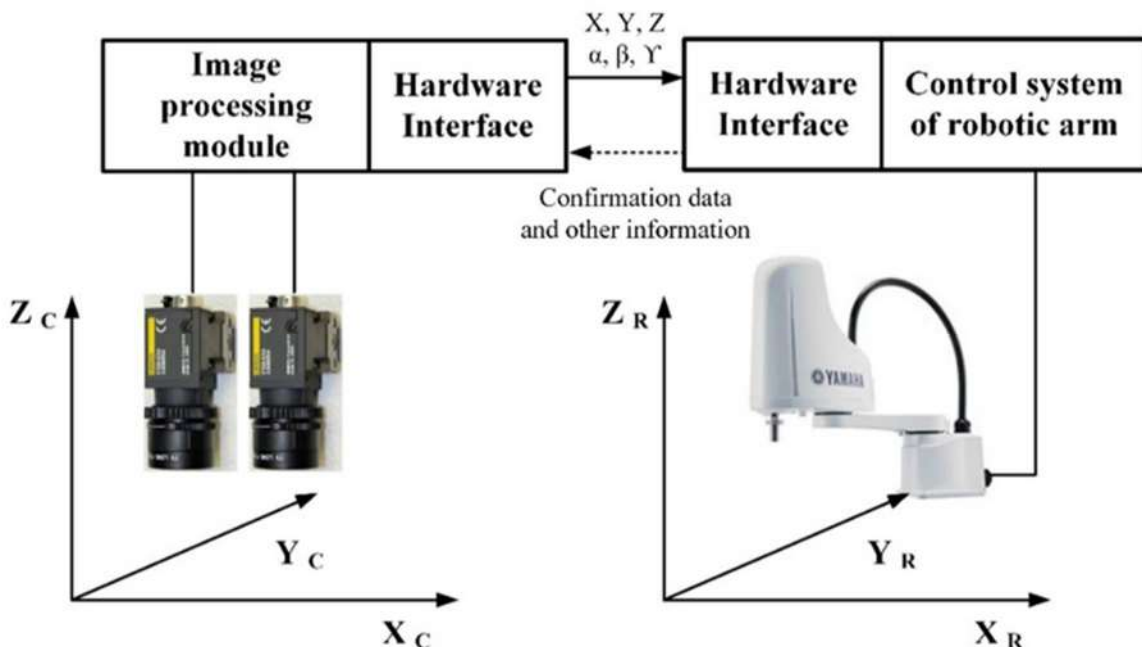


Fig. 2. Setup of the vision system

Interconnection between the control system of robotic arm and the vision system can be seen at Fig. 2. Next logical step consists of vision system calibration. Their purpose is the determination of internal, external parameters together with the values of mathematical model for

the lens distortion (due to their impact). By the calibration process we determine the precise position selection of the entities from the pictures. This process is followed by the transformation between relationships of robotic arm coordinate system and the vision system [12].

Conclusions. Trends in the area of nonconventional technology and their implementation at the multidisciplinary manufacturing processes are mainly oriented into the advanced sensing and evaluating of the object parameters that are participating inside of these applications. Nowadays, precision manufacturing machines are usually equipped by the special-purposed sensing devices with the high quality based on vision systems, because the current standard technologies are not satisfied by customer requirements. Standard sensing devices are often implemented directly at the robotic arm, but recent research focus in this area is more oriented to the newly recent sensorial object processing which the classic devices cannot met, so far. In particular, also material engineering is just the relevant touched area, where the advanced 3D vision systems allows the complex embedded chains usage during characteristic recognition of objects parameters.

Acknowledgement. *This work has been supported by the Slovak Grant VEGA 1/0330/19 - Research and design of algorithms and systems for the fusion of heterogeneous data in multi-sensory architectures.*

References

1. Distante, A., Distante, C. (2020). Handbook of Image Processing and Computer Vision. In: *Springer Nature: Berlin*, Pages 448p, ISBN 978-3-030-42373-0.
2. Hasegawa, Y., Shimon, Y. Nof. (2020). Springer Handbook of Automation. In: *Springer – Verlag: Berlin*. 1812p. ISBN 978-3-540-78830-0.
3. Vagaš, M., Galajdová, A. Džongov, M. (2019). Proposal of a vision system for automated line MPS 500. In: *Technical Sciences and Technologies*, Volume 18, Issue 4, ISSN 2411-5363.
4. Saukkoriipi, J., Heikkilä, T., Ahola, J. M., Seppälä, T. and Isto P. (2020). Programming and control for skill-based robots. In: *Open Engineering*. Volume 10, P. 368-376. ISSN 2391-5439.
5. Chen, J., Jing, L., Hong, T., Liu, H., Glowacz, A. (2020). Research on a Sliding Detection Method for an Elevator Traction Wheel Based on Machine Vision. In: *MDPI publishing, Symmetry—Open Access Journal*. Vol. 12, p. 1-14. ISSN 1424-8220.
6. Sukop, M., Hajduk, M., Baláž, V., Semjon, J., Vagaš, M. (2011). Increasing degree of automation of production systems based on intelligent manipulation. In: *Acta Mechanica Slovaca*, Volume 15, No. 4, P. 58-63. ISSN 1335-2393.
7. Tannoury, A., Darazi, R., Makhoul, A., Guyeux, Ch. (2018). *Wireless multimedia sensor network deployment for disparity map calculation*. In: IEEE Middle East and North Africa Communications Conference (MENACOMM), P. 1 – 6.
8. Mohamed, A., Culverhouse, P., Cangelosi, A., Yang, Ch. (2018). Active stereo platform: online epipolar geometry update. In: *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, Vol. 54
9. Deepa and Jyothi K. (2017): A robust and efficient pre-processing techniques for stereo images, *International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)*, p.89-92.
10. Collado, J. F.. (2004): New methods for triangulation-based shape acquisition using laser scanners, *Department d'Electronica, Informatica i Automatica, Universitat de Girona. Tesi doctoral*. ISBN 84-689-3091-1.
11. Zhihua, Lv.; Zhang, Z. (2011): Build 3D Scanner System based on Binocular Stereo Vision. In: *Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*. Pages 1-6. ISBN 978-1-61284-289-9.
12. Novák, P.; Špaček, P.; Mostýn, V.. (2011). On a human-robot collaboration in an assembly cell. In: *Proceedings of the ICMT 11 - International Conference on Military Technologies*. P. 961–968. ISBN 978-80-7231-787-5.

УДК 621.941-229.3:621.822.172

Марек Вагаш, Ярослав Семинський

**ПІДХОДИ ДО ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ СИСТЕМИ 3D КАМЕР
НА АВТОМАТИЗОВАНИХ РОБОЧИХ МІСЦЯХ**

Актуальність теми дослідження. Важливим є розгляд можливостей застосування системи 3D-камер на автоматизованих робочих місцях. У той же час ми хочемо описати принципи обробки 2D і 3D зображень.

Постановка проблеми. Мета статті – розробити інструкції щодо правильних підходів до системи обробки зображень, яка може бути застосована на автоматизованих робочих місцях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні вже є безліч інноваційних і зручних рішень для 3D- і 2D-камер. Проте через їхню високу ціну існує необхідність реалізувати вигідне рішення, яке може бути доступним для маленьких компаній.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Виробник, який займається системою обробки зображень і машинного зору, зазвичай надає дороге та (очевидно) закрите рішення для обробки зображень без будь-яких коригувань. Тому вважаємо за необхідне дослідити це питання.

Постановка завдання. Мета статті – запропонувати доступне за ціною рішення на базі двох ПЗЗ-камер, яке буде впроваджено на автоматизованому робочому місці.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації більш дешевого рішення доцільно мати відповідний приклад рішення обробки зображень і збору даних на основі регулювання процесу.

Висновки відповідно до статті. В опублікованій статті представлено доступне за ціною рішення, яке можна застосувати на автоматизованому робочому місці. У представленій статті більш детально розглядаються деякі рішення для обробки зображень, що стосуються захоплення цільового об'єкта, які не часто і не достатньо описані виробниками.

Ключові слова: машинний зір; фотоапарат; автоматизоване робоче місце.

Рис.: 2. Бібл.: 12.

Vagas Marek – Doctor of Technical Sciences, associate professor, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of automation and human machine interactions (9 Letna Str., 041 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.vagas@tuke.sk

Scopus Author ID: 55014596100

Jaroslav Šeminský – Doctor of Technical Sciences, associate professor, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of automation and human machine interactions (9 Letna Str., 041 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: jaroslav.seminsky@tuke.sk

Scopus Author ID: 35933017800

РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.311.4.031

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-156-162

Сергій Бойко, Олексій Городній, Ірина Касаткіна, Яна Долударєва, Леонід Вершняк

ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗАРЯДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Актуальність теми дослідження. Одним із напрямів сучасних світових стратегій є розвиток відновлюваної енергетики. Це особливо актуально для тих регіонів, де немає доступу до сучасних енергосистем, або для економік, що розвиваються, зі зростаючими енергетичними потребами. Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30 % від вартості її вироблення.

Постановка проблеми. Проблемою цієї роботи є питання компоновання та структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей. Існуючі методики для проектування системи електропостачання віддалених споживачів переважно розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню електропостачання за рахунок генерації електроенергії на базі відновлювальних джерел енергії, та не приділено достатньо уваги в контексті додаткової їх функціональності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх дослідженнях автори обґрунтовують необхідність впровадження автономних джерел енергії на базі відновлюваної енергетики. Між тим, з-поміж інших джерел відновлюваної енергетики виділяють вітроенергетику, що має певні переваги як за результатами теоретичних досліджень, так і з досвіду практичних впроваджень. Дослідження щодо перерахованих науково-практичних тематик продовжуються та набувають нових сенсів, враховуючи аспекти сучасного розвитку науки та техніки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей при неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Постановка завдання. Актуальною науково-практичною задачею є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей в умовах неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення безперервності електропостачання в умовах реальних обмежень на запаси палива, наявні в розпорядженні того чи іншого автономного об'єкта, пропонується використовувати відновлювані джерела енергії, які є завжди і всюди її серед яких виділяють вітроенергетику. Тому, зважаючи на перераховані аспекти компоновання вітроенергетичних комплексів, розроблення системи керування має за мету забезпечити споживачів стабільною напругою постійної частоти незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи та зарядження акумуляторних батарей.

Висновки відповідно до статті. Обґрунтовано необхідність впровадження в структуру автономної системи електропостачання на базі вітроенергетичного комплексу ланки для зарядження акумуляторних батарей. Запропоновано структуру вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей в умовах неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Ключові слова: розосереджена генерація; вітроенергетичний комплекс; енергетичне обладнання; електропостачання; акумулятори.

Рис.: 1. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Розвиток відновлюваної енергетики є одним із напрямів сучасних світових стратегій. Для регіонів без доступу до сучасних енергосистем або економік зі зростаючими енергетичними потребами це особливо актуально. Децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливості розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. На це вказує аналіз досягнень сучасної енергетики.

Постановка проблеми. Стратегії розвитку сучасної світової енергетики спрямовані на скорочення відсотка споживання світових запасів традиційних видів палива, що пов'язано з постійним підвищенням цін на енергоносії. Одним із напрямів сучасних світових стратегій є розвиток відновлюваної енергетики [1].

Для забезпечення енергетичної незалежності держави, що не володіють достатньою ресурсно-сировинною базою, активно впроваджують новітні технології в енергетичній галузі. З-поміж таких насамперед є розвиток відновлюваних джерел енергії. Таким чином, у майбутньому, за прогнозами експертів, частка «зеленої» енергії у світовому виробництві електроенергії має тенденцію до постійного зростання.

Відновлювана енергетика дозволяє організувати самодостатнє й децентралізоване енергопостачання і підвищити цінність місцевих ресурсів без залежності від імпорту або необхідності створення дорогих енергомереж. Це особливо актуально для тих регіонів, де немає доступу до сучасних енергосистем, або для економік, що розвиваються, зі зростаючими енергетичними потребами. Застосування автономних децентралізованих систем електропостачання набуває важливого значення.

Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30 % від вартості її вироблення [1].

Існуючі методики для проектування системи електропостачання віддалених споживачів в основному розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню, електропостачання за рахунок генерації електроенергії на базі відновлювальних джерел.

Досвід бойових дій на території України показує, що військовій авіації, зокрема безпілотній, необхідна широка мережа сучасних аеродромів. Між тим, за сприяння силових структур України, відбувається відродження державної малої та безпілотної авіації. Мала авіація має також перспективу як бізнес-проект. Між тим, акцентуючи увагу на безпілотній авіації, слід зазначити, що ціла когорта моделей використовує для польотів електродвигуни, що, як наслідок, спонукає до вирішення проблеми зарядження акумуляторних батарей безпілотних повітряних суден. Усі ці фактори сприяють зверненню уваги на мережу аеродромів. Одним зі значущих питань у цьому аспекті є електропостачання аеродромів, що розташовані іноді віддалено від централізованих систем електропостачання чи, враховуючи умови експлуатації та локації, потребують додаткових джерел електроживлення [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх дослідженнях автори обґрунтовують необхідність впровадження автономних джерел енергії на базі відновлюваної енергетики. Між тим, з посеред інших джерел відновлюваної енергетики, виділяють вітроенергетику, що має певні переваги як за результатами теоретичних досліджень, так і з досвіду практичних впроваджень [1-3].

Результати дослідження щодо застосування накопичувачів в автономних системах електропостачання на базі відновлюваних джерелами відображено в роботах Б. Лукутіна, Н. Юхно, В. Гладкевич та інших науковців [1-8].

Крім того, як у світі, так і в Україні набуло розвитку провадження в різні сфери електрифікованого транспорту. Тому дослідження науковців у цьому напрямі вказують на доцільність встановлення зарядних станцій на базі відновлюваних джерел енергії, що є актуальним, та розширює спектр їх встановлення, попри віддаленість від централізованого електропостачання [9]. До того ж дослідження щодо перерахованих науково-практичних тематик продовжуються та набувають нових сенсів, враховуючи аспекти сучасного розвитку науки та техніки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Актуальною науково-практичною задачею є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей у разі неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей.

Виклад основного матеріалу. Об'єкти автономного енергозабезпечення відіграють важливу роль у різних галузях (транспортній, військовій, туристичній та інших). Їх електропостачання має бути надійним та відповідати режимам роботи електроприймачів. З метою забезпечення безперервності їх електропостачання в умовах реальних обмежень на запаси палива, наявні в розпорядженні того чи іншого автономного об'єкта, пропонується використовувати відновлювані джерела енергії, які є завжди і всюди. Серед них виділяють вітроенергетику [8-12].

Проте використання вітроенергетичних комплексів (ВЕК), як основного джерела електричної енергії при автономному електропостачанні потребує обов'язкового накопичення електричної енергії.

Як накопичувачі енергії в сучасних автономних системах електропостачання переважно застосовують хімічні акумулятори. Цей тип накопичувачів має свої недоліки, такі як невисокий коефіцієнт корисної дії, обмежене число циклів заряд-розряд, нездатність швидкого реагування, проблематичність утилізації тощо, тому виникає необхідність їх заміни на більш прогресивні сучасні аналоги хімічних акумуляторів [4].

Автономне електропостачання є актуальною темою як у світі, так і в Україні. Для забезпечення якісного повноцінного електропостачання малопотужних об'єктів від автономних систем електропостачання на базі ВЕК важливим є вирішення проблеми зберігання електричної енергії, її перетворення та подальшого розподілу. Дослідження вітчизняних та закордонних учених вказують на той факт, що системи накопичення енергії є важливою складовою системи автономного електропостачання на базі ВЕК.

Для вітрової енергетичної установки використовують асинхронні та синхронні генератори різних типів та конфігурацій. Усі вони мають свої переваги та недоліки. Вирішальними в питанні вибору генератора є умови використання вітрової установки. Необхідно підібрати електричний генератор, який максимально відповідає розташуванню ВЕК [3].

За результатами аналізу можна зробити висновок про те, що асинхронний генератор у діапазоні потужності $5 \div 100$ кВт приблизно в півтора раза легший за синхронний генератор, а також має менші габарити [4].

Згідно з результатами аналізу можна зробити висновок про те, що вартість комутаційної апаратури та інших елементів системи асинхронного генератора менша за вартість аналогічних складових синхронного генератора [5].

У генераторному режимі асинхронна машина з короткозамкненим ротором застосовується рідко через наявність зовнішньої крутоспадної характеристики і недосконалості конденсаторного збудження. Але водночас застосування асинхронної машини в генераторному режимі має безперечні переваги перед синхронними генераторами [6], а саме: простота і надійність конструкції; малі маса та габарити; низька вартість; простота монтажу та обслуговування.

Тому, зважаючи на перераховані аспекти компонування ВЕК, розроблення системи керування має за мету забезпечити споживачів стабільною напругою постійної частоти незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. У процесі вирішення цього питання було з'ясовано, що система керування, яка працює за спеціально створеним законом керування, здатна забезпечити постійні вихідні енергетичні параметри ВЕК. Структурна схема ВЕК із системою керування представлена на рис. 1 [9].

За умови нормальної роботи ВЕК відбувається електропостачання М та заряд АКБ. Якщо виникає аварійна ситуація, за допомогою керованого комутатора К2 відключається мережа М від генератора АГ, а за допомогою комутатора К3 підключається навантаження до АКБ через інвертор І. Заряджання АКБ через комутатор К1 відбувається доти, доки автоматичний зарядний пристрій АЗП відключить АКБ від генератора через невідповідність параметрів струму або напруги.

Під час обертання вітрового колеса та вала генератора мікроконтролер аналізує величину сигналів, що надходять до нього, та робить висновок щодо величини заданої напруги для блоків симисторів. Доки ємність додаткових конденсаторів дозволяє регулювати величину вихідної частоти та напруги, ці параметри регулюються батареєю робочих конденсаторів. Якщо керування ємністю не дає результату, тобто частота та напруга продовжують зростати, то задана напруга подається на другу групу симисторів, які підключають баластне навантаження для регулювання вихідної напруги та частоти.

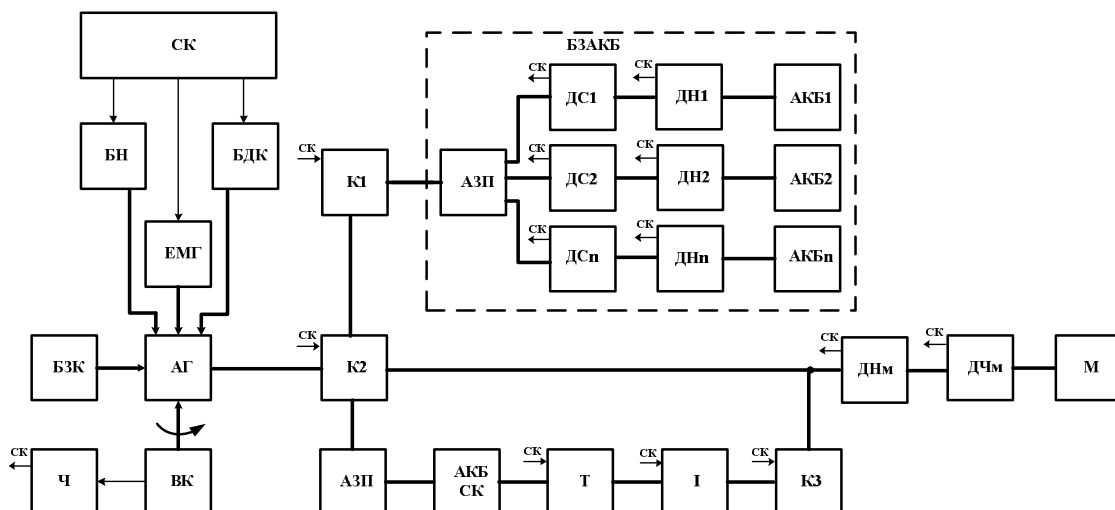


Рис. 1. Структурна схема вітроелектротехнічного комплексу на базі асинхронного генератора : ВК – вітрове колесо; АГ – асинхронний генератор з короткозамкненим ротором; БЗК – батарея збуджуючих конденсаторів; ЕМГ – електромагнітне гальмо; ДНм – давач напруги; ДС1, 2, n – давачі струму, для контролю заряду АКБ; ДН1, 2, n – давачі напруги, для контролю заряду АКБ; Ч – давач частоти обертів ВК; ДЧм – давач частоти напруги мережі; АЗП1, 2 – автоматичні зарядні пристрої; АКБ1, 2, n, АКБ СК – акумуляторні батареї; І – інвертор; БДК – батарея додаткових конденсаторів; БН – баластне навантаження; СК – система керування; К1–К3 – керовані комутатори; М – локальна мережа, Т – трансформатор

Передбачається здійснювати автоматичне керування ємнісним струмом у два прийоми. Застосування кожного з них залежить від швидкості обертання вітрового колеса.

Структура вітроелектротехнічного комплексу має можливість, за необхідності, працювати на мережу. Причому за допомогою керованого комутатора К2 є можливість під'єднання вітроелектротехнічного комплексу як напряму до мережі, так і через інвертор. Контроль енергетичних параметрів згенерованої електричної енергії у точці під'єднання до мережі визначається давачами напруги ДНм та частоти ДЧм, які передають інформацію до системи керування вітроелектротехнічного комплексу СК.

Під'єднання вітроелектротехнічного комплексу напряму до мережі може бути лише, якщо виконуються умови узгодження енергетичних параметрів генерованої енергії та мережі:

$$\begin{cases} U_G = U_m \\ f_G = f_m \end{cases},$$

де U_G, f_G – напруга та частота знергованої електричної енергії, U_m, f_m – напруга та частота електричної енергії в мережі.

Під'єднання вітроелектротехнічного комплексу до мережі, у разі невідповідності їхніх енергетичних параметрів, можливе через керований трансформатор та керований інвертор.

Між тим, запропонована схема вітроелектротехнічного комплексу насамперед передбачає у своїй структурі комплекс для зарядження акумуляторних батарей. До його складу входять зарядний пристрій АЗП1, давачі струму ДС1-ДСп та давачі напруги ДН1-ДНп, для контролю стану заряду акумуляторних батарей та акумуляторні батареї АКБ1-АКБп.

Робота такої системи вітроелектротехнічного комплексу може бути описана математичною моделлю:

$$\begin{cases} P_G = P_m + \sum P_{акб} \\ Q_G = Q_m \end{cases},$$

де P_G, Q_G – активні й реактивні потужності генерації джерел енергії відповідно; P_m, Q_m – активна й реактивна потужності локальної мережі вітроелектротехнічного комплексу; $P_{акб}$ – активні потужності акумуляторів.

Вітроелектротехнічний комплекс функціонує таким чином: визначається першочергова функціональна необхідність комплексу, що відображається в компонуванні обладнанням із відповідними енергетичними характеристиками.

У разі першочергового призначення ВЕК як автономного чи додаткового джерела електричної енергії, комплекс першочергово живить енергооб'єкти, що під'єднані до нього. Зарядження акумуляторних батарей відбувається лише за умови надлишку згенерованої електричної енергії.

У разі першочергового призначення ВЕК як вітрозарядної станції, першочергово відбувається зарядження акумуляторних батарей, а надлишок згенерованої електричної енергії є можливість накопичити до акумулятора АКБ СК, чи під'єднати корисне навантаження.

Модульність конструкції ВЕК дозволяє в короткий термін його змонтувати та налаштувати. Причому залежно від завдань, які ставляться перед ВЕК, ним є можливість його використовувати як портативним, так і стаціонарним. Такий вітроелектротехнічний комплекс буде особливо актуальним для електропостачання аеродромів, що розташовані, що віддалено від централізованих систем електропостачання чи, враховуючи умови експлуатації та локації, потребують додаткових джерел електроживлення, та польових короткочасних баз для обслуговування безпілотних літальних апаратів.

Висновки відповідно до статті. 1. Обґрунтовано необхідність впровадження в структуру автономної системи електропостачання на базі вітроенергетичного комплексу ланки для заряду акумуляторних батарей.

2. Запропоновано структуру вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей в умовах неможливості під'єднання до централізованого електропостачання, у тому числі аеродромів.

Список використаних джерел

1. Стогній Б. С. Сталий розвиток енергетики та інтелектуальні енергетичні системи. *Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск*. Київ, 2010. С. 6–10.
2. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. *Міністерство енергетики та вугільної промисловості України*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
4. Sinchuk O. M., Boiko S. M., Karamanyts F. I., Kozakevych I. A., Baranovska M. L., Yalova A. M. Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supply systems. Warsaw, Poland: IsIENCT, 2018.
5. Деклараційний патент на корисну модель № 84633, Україна, H02P9/00. Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О. М. Сінчук, Д. А. Михайличенко, С. М. Бойко, М. А. Щербак / Патентовласник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; заявл. №u201305538 від 29.04.2013, опубл. 25.10.2013. Бюл. №20, 2013 р.
6. Деклараційний патент на корисну модель № 86426, Україна, F03D 9/00. Спосіб керування вітроелектротехнічним комплексом з асинхронним генератором / О. М. Сінчук, С. М. Бойко / Патентовласник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; заявл. №u201309324 від 25.07.2013, опубл. 25.12.2013. Бюл. №24, 2013 р.
7. Лежнюк П. Д., Ковальчук О. А., Кулик В. В. Особливості роботи відновлюваних джерел енергії в локальній електричній системі. *Відновлювана енергетика XXI століття* : XII Міжнарод. наук.-практ. конф. Крим, 2011. С. 42–46.
8. Yulong P., Cavagnino A., Vaschetto S., Feng C., Tenconi A. Flywheel energy storage systems for power systems application. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Santa Margherita Ligure, Italy, 27–29 June 2017. Pp. 492–501.

9. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
10. United States Air Force. Air Force Basic Doctrine, Organization, and Command. Air Force Doctrine Document 1.14 October 2011.
11. Vick Alan J. Air Base Attacks and Defensive Counters Historical Lessons and Future Challenges [Research Report] / Alan J. Vick. – RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 2015.
12. Уроки війни на Сході: авіаційна компонента. Уроки АТО: авіаційна компонента / "Народна армія" Ветерани.UA". 2016. URL: <http://veterano.com.ua/vijna/na-zakhysti-ukrainy/4696-uroki-vijni-na-skhodi-aviatsijna-komponenta>.

References

1. Stohniy, B. S. (2010). Stalyy rozvytok enerhetyky ta intelektual'ni enerhetychni systemy [Sustainable energy development and intelligent energy systems]. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy – Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, special issue, pp. 6–10.
2. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
3. Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine [Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy]. (n.d.). *Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 r. [Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035]*. <http://mpe.kmu.gov.ua>.
4. Sinchuk, O. M., Boiko, S. M., Karamanyts, F. I., Kozakevych, I. A., Baranovska, M. L., Yalova, A. M. (2018). *Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supply systems*. ISENCT.
5. Sinchuk, O. M., Mykhaylychenko, D. A., Boyko, S. M., Shcherbak, M. A. (2013). *Systema keruvannia asynkhronnym heneratorom u skladi vitroelektrotekhnichnoho kompleksu [Control system of an asynchronous generator as a part of a wind-electric complex]*. (Deklaratsiynyi patent na korysnu model № 84633, Ukraina, H02P9/00).
6. Sinchuk, O. M., Boyko, S. M. (2013). *Sposib keruvannya vitroelektrotekhnichnym kompleksom z asynkhronnym heneratorom [Method of control of wind power complex with asynchronous generator]*. (Deklaratsiynyi patent na korysnu model № 86426, Ukraina, F03D 9/00).
7. Lezhnyuk, P. D., Kovalchuk, O. A., Kulyk, V. V. (2011). Osoblyvosti roboty vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi v lokal'niy elektrychniy systemi [Features of renewable energy sources in the local electrical system]. *Vidnovlyuvana enerhetyka XXI stolittya: XII mizhnarod. nauk.–prakt. konf. – Renewable energy of the XXI century: XII International. scientific-practical conf.* (pp. 42–46).
8. Yulong, P., Cavagnino, A., Vaschetto, S., Feng, C., Tenconi, A. (27–29 June 2017). Flywheel energy storage systems for power systems application. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)* (pp. 492–501). Santa Margherita Ligure.
9. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future (2006). Office for Official Publications of the European Communities.
10. United States Air Force. Air Force Basic Doctrine, Organization, and Command. Air Force Doctrine Document 1. 14 October 2011.
11. Vick Alan J. (2015). Air Base Attacks and Defensive Counters Historical Lessons and Future Challenges [Research Report]. RAND Corporation.
12. "Narodna armiiia" Veterany.UA" ["People's Army" Veterans.UA"]. (2016). *Uroky viiny na Skhodi: aviatsiina komponenta. Uroky ATO: aviatsiina komponenta [Lessons from the war in the East: the aviation component. Lessons of anti-terrorist operation: aviation component]*. <http://veterano.com.ua/vijna/na-zakhysti-ukrainy/4696-uroki-vijni-na-skhodi-aviatsijna-komponenta>.

UDC 621.311.4.031

Serhii Boiko, Oleksiy Gorodny, Irina Kasatkina, Yana Doludariieva, Leonid Vershniak

WIND POWER COMPLEX FOR LOADING OF STORAGE BATTERIES

Urgency of the research. One of the directions of modern world strategies is the development of renewable energy. This is especially true for those regions where there is no access to modern energy systems, or for developing countries with growing energy needs. Analysis of the achievements of modern energy shows that decentralized energy systems using distributed generation sources can be an extremely profitable area for investment, if it is possible to place energy sources near consumers. Usually the cost of energy transfer reaches 30 % of its production.

Actual scientific researches and issues analysis. The problem of this work is the layout and structure of the wind power complex for charging batteries. Existing methods for designing the power supply system for remote consumers are mainly considered as an alternative to centralized power supply, electricity supply through electricity generation based on renewable energy sources, and not enough attention has been paid to their additional functionality.

Uninvestigated parts of general matters defining. The authors substantiate the need for the introduction of autonomous energy sources based on renewable energy in a number of previous studies. Meanwhile, wind energy is distinguished among other sources of renewable energy, which has a number of advantages both according to the results of theoretical research and from the practical implementation. The research on these scientific and practical topics continues, and acquires new meanings, taking into account aspects of modern science and technology.

The research objective. Thus, the urgent scientific and practical task is to develop the structure of the wind power complex for charging batteries in the conditions of impossibility of connection to the centralized power supply.

The statement of basic materials. In order to ensure the continuity of their electricity supply in the face of real restrictions on fuel reserves available to a particular autonomous facility, it is proposed to use renewable energy sources, which are always and all of which emit wind energy. Therefore, taking into account the above aspects of the layout of wind power systems, the development of the control system aims to provide consumers with a stable DC voltage regardless of changes in parameters in any part of the system and battery charging.

Conclusions. The necessity of introduction in the structure of an autonomous stirrup of power station on the basis of a wind power complex of a link for a back of accumulator batteries is proved. The structure of a wind power complex for charging of accumulator batteries in the conditions of impossibility of connection to the centralized power supply is offered.

Keywords: distributed generation; wind power complex; power equipment; power supply; batteries.

Fig.: 1. References: 12.

Бойко Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

Boiko Serhii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of automation electromechanical systems in the industry and vehicles, Kryvyi Rih National University (11 Vitaliy Matusevych Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

E-mail: bsn1987@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

Scopus ID: 56417478200

Городній Олексій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Gorodny Oleksiy – PhD in Technical Sciences, associate professor of Department of Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: aleksey.gorodny@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

Web of Science H-1425-2016

Scopus: ID 56338229500

Касаткіна Ірина Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

Kasatkina Irina – PhD in Technical Sciences, associate professor of Department of automation electromechanical systems in the industry and vehicles Kryvyi Rih National University (11 Vitaliy Matusevych Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

E-mail: speet@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8967-6442>

Долударева Яна Станіславівна – викладач вищої категорії, викладач-методист, голова циклової комісії природничих наук, кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39600, Україна).

Doludarieva Yana – Lecturer of the highest category, teacher-methodologist, chairman of the cycle commission of natural sciences, candidate of technical sciences, associate professor, Kremenchuk Flight College, Kharkiv National University of Internal Affairs (17/6 Wins Str., 39600 Kremenchuk, Ukraine).

E-mail: boikosn2017@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

Вершняк Леонід Володимирович – аспірант, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Vershniak Leonid – PhD student, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: L.V.Vershnyak@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7178-7339>

УДК 621.3.011.74.005

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-163-169

Владислав Михайленко, Юлія Чуняк, Владислав Бачинський

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ У КОЛАХ ІЗ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ТРИФАЗНОЇ НАПРУГИ В ПОСТІЙНУ З ДВАНДЦЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ

Актуальність теми дослідження. У зв'язку з широким використанням напівпровідникових комутаторів у електричних колах сучасних перетворювачів параметрів електроенергії значно ускладнюються задачі аналізу електромагнітних процесів. Найбільші ускладнення виникають при необхідності моделювання усталених і перехідних процесів у розгалужених колах змінної структури, у ланках із реактивними елементами якої виникають синусоїдні, постійні та імпульсні напруги.

Постановка проблеми. Математична модель перетворювача може бути побудована з використанням методу багатопараметричних модулюючих функцій у напрямку розробки нових математичних моделей електромагнітних процесів у колах з напівпровідниковими комутаторами та ланками синусоїдних, постійних та імпульсних струмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях М. Макаренка, В. Сенька, М. Юрченка, А.А. Щерби та інших вчених було розроблено метод багатопараметричних функцій, який спрощує оцінку електромагнітних процесів у електричних колах синусоїдного струму з напівпровідниковими комутаторами.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Виникла необхідність розвитку багатопараметричних методу для аналізу перехідних процесів у електричних колах з ланками не тільки синусоїдного, але й постійного та імпульсного струмів, необхідних для реалізації електромеханічних і розрядно-імпульсних технологій.

Постановка завдання. Створення математичної моделі для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з багатозонним регулюванням вихідної напруги при підключенні фазних напруг мережі живлення.

Виклад основного матеріалу. У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах із напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах із широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги.

Висновки відповідно до статті. Розроблено нову математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у електричних колах напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу з багатоканальним зонним використанням фазних напруг трифазної мережі живлення без урахування втрат електроенергії у комутаторах.

Ключові слова: електромагнітні процеси; вихідна напруга; струм.

Рис.: 5. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. У зв'язку з широким використанням напівпровідникових комутаторів у електричних колах сучасних перетворювачів параметрів електроенергії значно ускладнюються задачі аналізу електромагнітних процесів. Найбільші ускладнення виникають при необхідності моделювання усталених і перехідних процесів у розгалужених колах змінної структури, у ланках із реактивними елементами якої виникають синусоїдні, постійні та імпульсні напруги [1].

Постановка проблеми. Математична модель перетворювача може бути побудована з використанням методу багатопараметричних модулюючих функцій у напрямку розробки нових математичних моделей електромагнітних процесів у колах із напівпровідниковими комутаторами та ланками синусоїдних, постійних та імпульсних струмів [2; 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У праці [4; 5] виконано аналіз транзисторних перетворювачів та проведено дослідження енергетичних показників елементів та системи електропривода загалом. Одним із найкращих способів вимикання тиристорів у низьковольтному імпульсному електроприводі є спосіб паралельно-ємнісної комутації силового тиристора перетворювача постійної напруги. При цьому краще обходитися без додаткового джерела енергії, яке використовують в окремих випадках для підзарядки комутуючого конденсатора, оскільки при автономному джерелі живлення (акумуляторній батареї) додаткове джерело енергії знижує ефективність роботи імпульсного електропривода. У [6] проведено аналіз тиристорних та транзисторних НПП системи електропривода, однак для розрахунку цих НПП користуються достатньо складними системами рівнянь.

У роботі [5] розглянуто метод структурного синтезу на основі графу зміни стану (ГЗС) та метод структурного синтезу напівпровідникових перетворювачів (НПП) на основі головної топологічної матриці (ГТМ). Використання цих методів синтезу дозволяє отримати повний набір схемних рішень різних відомих класів НПП, а у деяких випадках виявити нові схеми. Розроблені методи доведено до практичних методик на багатьох прикладах генерації напівпровідникових схем різного функціонального призначення.

При підготовці статті були розглянуті публікації [7; 8], присвячені проблемам аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Виникла необхідність розвитку багатопараметричних методів для аналізу перехідних процесів у електричних колах із ланками не тільки синусоїдного, але й постійного та імпульсного струмів, необхідних для реалізації електромеханічних і розрядно-імпульсних технологій. При цьому важливо було визначити особливості підключення електричних кіл із напівпровідниковими комутаторами до фазної та лінійної напруг трифазної мережі електроживлення.

Постановка завдання. Створення математичної моделі для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з багатозонним регулюванням вихідної напруги при підключенні фазних напруг мережі живлення.

Виклад основного матеріалу. Тенденції перетворення електричної енергії, а також успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. У роботах [1-6] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У цій роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ як ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) напруги.

Структурна схема перетворювача показана на рис. 1. На цій схемі позначені: СМА, СМВ, СМС – силові модулятори (СМ) фазних напруг A , B і C відповідно, ВВ – високо-частотний випрямляч, Н – навантаження. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, являє собою ланку високої частоти перетворювача.

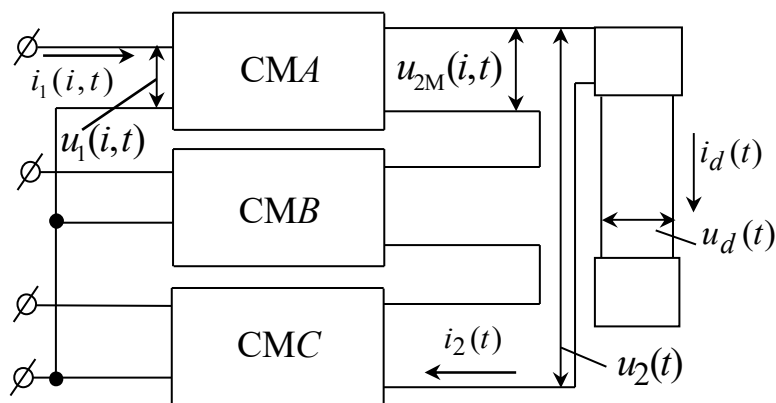


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

На структурній схемі СМ показаній на рис. 2 позначені: ІВН – інвертор випрямленої напруги, ТВ – узгоджувальний трансформатор, n – номер ІВН.

Таким чином, кожен СМ має у своєму складі N ІВН, де N – це число інверторів.

Створення математичної моделі перетворювача передбачає розробку математичного забезпечення, спроможного провести аналіз його електромагнітних процесів відносно енергії, яка генерується, з урахуванням характеру навантаження, енергії, яка споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і окремими елементами перетворювача.

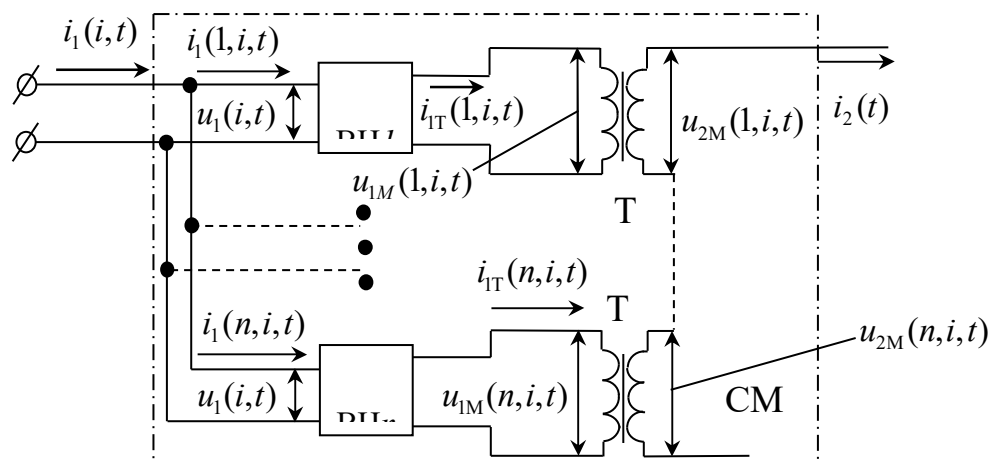


Рис. 2. Структурна схема силового модулятора

При складанні математичної моделі перетворювача використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [1], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому прийємо такі припущення: вхідна мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, трансформатори не мають втрат, а навантаження перетворювача має активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, при якому в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень попередньо випрямлених фазних напруг $u_1(i,t)$, частоти ω_1 , трифазної мережі відповідними модулюючими впливами $\psi(\alpha_p,t)$, частоти ω_2 .

У цьому випадку на виході кожного з ІВН формується промодульована напруга

$$u_{2M}(p,i,t) = k_T \cdot u_1(i,t) \cdot \phi(i,t) \cdot \psi(\alpha_p,t) \quad (1)$$

де $i = 1, 2, 3$ – номери фаз мережі; k_T – коефіцієнт трансформації трансформатора; $p = 1, 2, 3, \dots, n$ – номери зон регулювання; $\phi(i,t)$ – функції прямокутного сінуса, співпадаючі за часом з фазними напругами; $u_1(i,t)$ – миттєві значення вхідної напруги.

Функції прямокутного сінуса подаються як

$$\phi(i,t) = \text{sign} \left\{ \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right\}, \quad (2)$$

а миттєві значення вхідної напруги мережі представлені у вигляді

$$u_1(i,t) = U_{1m} \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right), \quad (3)$$

де U_{1m} – амплітудне значення фазної напруги.

Еквівалентні модулюючі впливи подаються виразом

$$\psi(\alpha_p,t) = \frac{1}{2} \sum_2 \text{sign} \left[\sin(\omega_2 t \pm \alpha_p(t) - \phi) \right], \quad (4)$$

де $\alpha_p(t)$ – кути управління, за рахунок зміни яких забезпечується ШПР вихідної напруги перетворювача; ϕ – початкова фаза еквівалентних модулюючих впливів.

У перетворювачі забезпечується почергова зміна кутів керування в діапазоні від 0^0 до 90^0 . У формуванні напруги кожної зони керування задіяні три інвертори, які підключені до відповідних фаз мережі живлення. Умови зміни кутів керування у окремих

зонах подаються у наступному вигляді: $\alpha_p(t)=0$, якщо $t < \frac{(p-1)T}{N=12}$; $\alpha_p(t)=\pi$, якщо $t > \frac{pT}{12}$,

а інакше $\alpha_p(t)=f_x(p, N, t)$, де $f_x(p, N=12, t)$ – функція, що задає закон зміни $\alpha_p(t)$, яка залежить від номера зони p і їх кількості $N=12$.

Вихідна перетворювача $u_d(t)$ визначається виразом

$$u_d(t) = \frac{1}{k_T} \sum_{p=1}^{12} \sum_{i=1}^3 u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(\alpha_p, t) v(t), \quad (5)$$

де $v(t)$ – функція прямокутного сіноса, яка збігається за часом з положенням вихідної напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача.

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)). \quad (6)$$

Для аналізу вихідної напруги перетворювача в (5) позначимо $u_1(i, t) \phi(\alpha_p, t) = |u_1(i, t)|$, враховуючи (3) і (4), а також те, що в (6) $\psi(\alpha_p, t) v(t) = |\psi(\alpha_p, t)|$, маємо

$$u_d(t) = \frac{1}{2k_T} \sum_{p=1}^{12} \left(\sum_{i=1}^3 \left(\left| U_{1m} \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right| \cdot \left| \sum_2 \text{sign} [\sin(\omega_2 t \pm (\alpha_p/2) - \phi)] \right| \right) \right). \quad (7)$$

З наведеного рівняння (7) видно, що вихідна напруга перетворювача досягне максимального значення за умови, що $\alpha_p(t) = 0$. У цьому випадку частота пульсацій вихідної напруги $\omega_{\Pi} = 6\omega_1$, а вираз для $u_d(t)$ матиме вигляд

$$u_d(t) = \frac{1}{k_T} \sum_{p=1}^{12} \sum_{i=1}^3 \left| U_{1m} \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right|. \quad (8)$$

Струм навантаження знайдемо, як реакцію RL -ланцюга на дію напруги $v(t)$ (6). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру, представимо як

$$D(t, y) = \frac{u_d(t)}{L} - \frac{R}{L} y_0, \quad (9)$$

де y_0 – визначається з початкових умов; R і L – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Рішення рівняння (9) відносно струму навантаження визначимо числовим методом як

$$i_d(t) = \text{rkfixed}(y, 0, k, s, D), \quad (10)$$

де: y – вектор початкових умов; $0, k$ – часовий інтервал рішень; s – кількість точок на часовому інтервалі рішень; D – вектор функція диференціальних рівнянь.

Еквівалентні функції (4) і (6), які мають одиничну амплітуду, можна розглядати як функції, що визначають залежність вхідного струму від вихідного струму, який показаний у вигляді рішення рівняння (9) співвідношенням (10). Для визначення струму $i_2(t)$ високочастотного випрямляча необхідно (10) розділити на (6). Якщо в функції перетворення є нульовий рівень операцію ділення на повному періоді існування (8) виконати неможливо. Це призводить до необхідності знаходження струму перед високочастотним випрямлячем на інтервалах ненульового значення, з послідовним припасовуванням результатів окремих підрахунків. Однак подання (6) функцією одиничної амплітуди дозволяє визначити струм $i_2(t)$ перемноженням (10) на (6) і, тим самим, спростити процес підрахунків, представляючи результати на повному інтервалі існування (7) і (10). Таким чином, вхідний струм високочастотного випрямляча має вигляд:

$$i_2(t) = i_d(t) v(t). \quad (11)$$

Для визначення вхідних струмів інверторів i -х фаз для кожної p -ї зони регулювання врахуємо, що $i_2(t)$ протікає в загальному контурі всіх СМ, утвореному послідовно з'єднаними вторинними обмотками узгоджувальних трансформаторів і прийнемо до уваги алгоритмічне рівняння (5) і те, що (2), (4) і (6) є функціями одиничної амплітуди.

При цьому в загальному вигляді

$$i_1(n, i, t) = \frac{i_2(t)\psi(\alpha_p, t)\phi(i, t)}{3k_T} \quad (12)$$

Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача для дванадцятизонного регулювання, представлені на рис. 3.

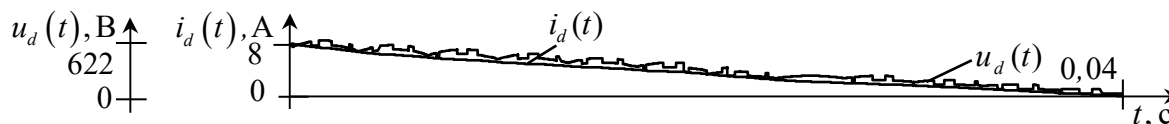


Рис. 3. Часові діаграми струму і напруги навантаження

Для визначення струмів i -х фаз мережі виконаємо сумування вхідних струмів інверторів всіх зон регулювання в кожній з i -ї фази. Враховуючи рівняння (12) загальний вираз для струмів i -х фаз мережі подамо як

$$i_1(i, t) = i_1(1, i, t) + i_1(2, i, t) + i_1(3, i, t) + \dots + i_1(12, i, t), \quad (13)$$

де: $i_1(1, i, t)$, $i_1(2, i, t)$, $i_1(3, i, t)$, $i_1(4, i, t)$, ..., $i_1(12, i, t)$ – вхідні струми інверторів i -х фаз для першої, другої, третьої, четвертої та дванадцятої зон регулювання

Часові діаграми вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах напруг, побудовані за (13) для дванадцятизонного регулювання, представлені на рис. 4.

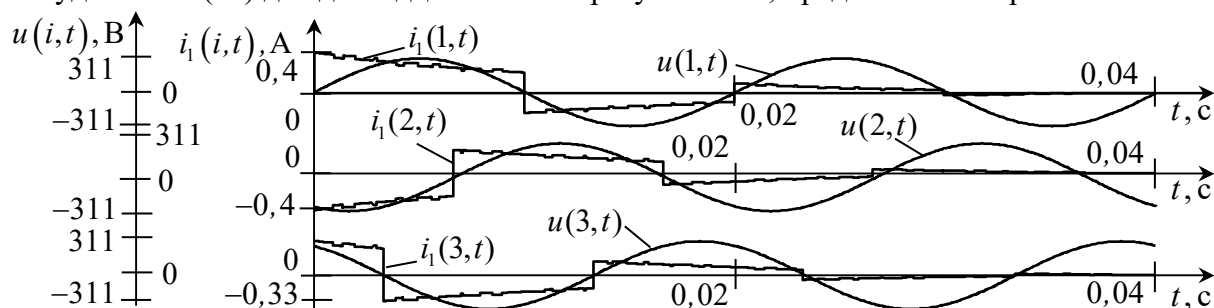


Рис. 4. Часові діаграми вхідних струмів i -х фаз мережі в координатах фазних напруг

Для того щоб знайти амплітудні значення струмів через силові транзистори ІВН, достатньо проаналізувати струми $i_{1T}(n, i, t)$ первинних обмоток узгоджувальних трансформаторів, які знаходяться в колах протікання струмів через силові транзистори.

Висновки відповідно до статті. Підтверджено доцільність використання програмного пакета МATHCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

Розроблено нову математичну модель усталених і перехідних процесів у електричних колах напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу з багатоканальним зонним використанням фазних напруг трифазної мережі живлення без урахування втрат електроенергії у комутаторах на першому етапі моделювання для спрощення розрахунків і швидкої оцінки впливу параметрів навантаження на характеристики регульованих вихідних синусоїдних і постійних напруг.

Такий підхід забезпечує швидке визначення алгоритмів управління комутаторами при підключенні напівпровідникових перетворювачів до фазних напруг мережі живлення та підвищення якості знакопостійних напруг при багатозонному регулюванні вихідної напруги. При порівнянні з математичними моделями наведеними у [4-6] похибка розрахунків складала не більше ніж $-5\% \div +3\%$, що дозволяє говорити, що цей метод підходить для швидкої оцінки НПП та режимів його роботи.

Список використаних джерел

1. Макаренко М. П., Сенько В. І., Юрченко М. М. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу. Київ : НАН України, ІЕД. 2005. 241 с.
2. Ivashchenko D. S., Shcherba A. A., Suprunovska N. I. Analyzing Probabilistic Properties of Electrical Characteristics in the Circuits Containing Stochastic Load. *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems IEPS-2016*. (June 7–11). Kyiv, 2016. P. 45–48. DOI: 10.1109/IEPS.2016.7521887.
3. Shcherba A. A., Suprunovska N. I. Electric Energy Loss at Energy Exchange Between Capacitors as Function of Their Initial Voltages and Capacitances Ratio. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 3. С. 9–11. DOI: <https://doi.org/10.15404/techned2016.03.009>.
4. Гуцалюк В. Я., Юрченко О. М., Зубков І. С., Пазенко В. П. Послідовне з'єднання резонансних інверторів напруги високочастотних установок індукційного нагріву. *Технічна електродинаміка*. 2018. № 4. С. 70–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.070>.
5. Tereshchenko T. O., Yamnenko Y. S., Kuzin D. V., Klepach L. E. Multilevel inverter topology and control signals definition based on orthogonal spectral transformations. *Технічна електродинаміка*. 2018. № 4. С. 57–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.070>.
6. Войтех В.О. Перетворювач частоти в системі з асинхронним двигуном водяного насоса у разі живлення від водяного насоса. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2019. Вип. 52. С. 45–48.
7. Nguyen P. K., Lee K. H., Kim S. I., Ahn K. A., Chen L. H., Lee S. M., Chen R. K., Jin S., Berkowitz A. E. Spark Erosion: a High Production Rate Method for Producing Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te₃ Nanoparticles With Enhanced Thermoelectric Performance. *Nanotechnology*. 2012. Vol. 23. P. 415604-1 – 415604-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/41/415604>.
8. Nguyen, P.K., Sungho J., Berkowitz A.E. MnBi particles with high energy density made by spark erosion. *J. Appl. Phys.* 2014. Vol. 115. Iss. 17. P. 17A756-1. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4868330>.
9. Mykhailenko V.V.; Buryan S.O.; Maslova T.B.; Mikhnenko G.E.; J.M Chunya; Tcharniak O.S. Study of Electromagnetic Processes in the Twelve-Pulse Converter with Eight-Zone Regulation of Output Voltage and Electromechanical Load. *Proc. 6th IEEE International Conference on Energy Smart Systems ESS-2019*. Kyiv, Ukraine, April 17–19, 2019. P. 43–46. DOI: 10.1109/ESS.2019.8764227.

References

1. Makarenko, N. P., Senko, V. I., Yurchenko, N. N. (2005). *System analysis of electromagnetic processes in semiconductor converters of modulation type electricity*. National Academy of Science of Ukraine, Electrodynamics Institute.
2. Ivashchenko, D. S., Shcherba, A. A., Suprunovska, N. I. (2016). Analyzing Probabilistic Properties of Electrical Characteristics in the Circuits Containing Stochastic Load. *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems IEPS-2016*. (pp. 45–48). DOI: 10.1109/IEPS.2016.7521887.
3. Shcherba, A. A., Suprunovska, N. I. (2016). Electric Energy Loss at Energy Exchange Between Capacitors as Function of Their Initial Voltages and Capacitances Ratio. *Tekhnichna Elektrodynamika – Technical electrodynamics*, 3, pp. 9–11. DOI: <https://doi.org/10.15404/techned2016.03.009>.
4. Gutsalyuk, V. Y., Yurchenko, O. M., Zubkov, I. S., Pazenko, V. P. (2018). Serial connection of resonant voltage inverters of high-frequency induction heating systems. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 4, pp. 70–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.070>.
5. Tereshchenko, T.O., Yamnenko, Y. S., Kuzin, D. V., Klepach, L. E. (2018). Multilevel inverter topology and control signals definition based on orthogonal spectral transformations. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 4, pp. 57–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.070>.
6. Voitek, V. O. (2019). Frequency converter in a system with an asynchronous motor of a water pump in case of power supply from a water pump. *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Science of Ukraine*, 52, pp. 45–48.

7. Nguyen, P. K., Lee, K. H., Kim, S. I., Ahn, K. A., Chen, L. H., Lee, S. M., Chen, R. K., Jin, S., Berkowitz, A. E. (2012). Spark Erosion: a High Production Rate Method for Producing Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te₃ Nanoparticles With Enhanced Thermoelectric Performance. *Nanotechnology*, 23, pp. 415604-1 – 415604-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/41/415604>.

8. Nguyen, P. K., Sungho, J., Berkowitz, A. E. (2014). MnBi particles with high energy density made by spark erosion. *J. Appl. Phys.*, 115(17), pp. 17A756-1. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4868330>.

9. Mykhailenko, V. V., Buryan, S. O.; Maslova, T. B., Mikhnenko, G. E., Chunya, J. M., Tcharniak, O. S. (2019). Study of Electromagnetic Processes in the Twelve-Pulse Converter with Eight-Zone Regulation of Output Voltage and Electromechanical Load. *Proc. 6th IEEE International Conference on Energy Smart Systems ESS-2019* (April 17–19, pp. 43–46). DOI: 10.1109/ESS.2019.8764227.

UDC 621.3.011.74.005

Vladyslav Mykhailenko, Julia Chunya, Vladyslav Bachynskiy

ANALYSIS OF PROCESSES IN CIRCUIT WITH A THREE-PHASE-TO-DC CONVERTER WITH TWELVE ZONED VOLTAGE REGULATIONS

Urgency of the research. Due to the widespread use of semiconductor switches in the electrical circuits of modern converters of electricity parameters, the tasks of analysis of electromagnetic processes are significantly complicated. The greatest complications arise when it is necessary to model steady-state and transient processes in branched circuits of variable structure, in which links with reactive elements sinusoidal, constant and pulse voltages occur.

Target setting. The mathematical model of the converter can be built using the method of multiparameter modulating functions in the direction of developing new mathematical models of electromagnetic processes in circuits with semiconductor switches and links of sinusoidal, direct and pulsed currents.

Actual scientific researches and issues analysis. In the publications of M. Makarenko, V. Senko, N. Yurchenko, A. Scherba and other scientists have developed a method of multiparameter functions that simplifies the evaluation of electromagnetic processes in sinusoidal current circuits with semiconductor switches.

Uninvestigated parts of general matters defining. There is a need to develop a multiparameter method for the analysis of transients in electrical circuits with links not only sinusoidal, but also direct and pulsed currents required for the implementation of electromechanical and discharge-pulse technologies.

The research objective. Creation of a mathematical model for the analysis of electromagnetic processes in a semiconductor converter with multiband regulation of the output voltage when connecting the phase voltages of the power supply network.

The statement of basic materials. The article analyzes the electromagnetic processes in electrical circuits with semiconductor switches. A mathematical model for the analysis of electromagnetic processes in semiconductor converters with pulse-width regulation of the output voltage is created.

Conclusions. A new mathematical model for the analysis of electromagnetic processes in electric circuits of semiconductor converters of modulation type with multichannel band use of phase voltages of three-phase power supply network without taking into account power losses in switches is developed.

Keywords: electromagnetic processes; output voltage; current.

Fig.: 5. References: 9.

Михайленко Владислав Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Mykhailenko Vladyslav – PhD in Technical science, associate professor of the theoretical electrical engineers department, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: VladislavMihailenko@i.ua

SCOPUS Author ID: 57191822179

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0973-4612>

Чуняк Юлія Михайлівна – асистентка кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Chunya Julia – assistant teacher of the theoretical electrical engineers department, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4506-912X>

Бачинський Владислав Ігоревич – студент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Bachynskiy Vladyslav – student of the automation of energy processes and systems design department, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

UDC 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-170-176

Michal Kelemen, Jana Ligušová, Ján Liguš, Vladislav Maxim

ADDITIONAL MODULES FOR PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER BASED TRAINING STANDS

Urgency of the research. Programmable logic controllers are devices, which are necessary for building of controlling systems mainly for industrial applications. Therefore, there is an effort to make intensive training for knowledge and skills in this area.

Target setting. Training stands have been developed of the training purpose. Programmable controllers are used together with sensors and actuators. The aim is to make a training in area for working with sensors and actuators to compose completed project similar as it is required in industry.

Actual scientific researches and issues analysis. Training set allows making hardware simulation of control system. But also, it is important to apply it together with other real parts. Practical experience with using of all components together are highly required. There are some effects, which cannot be simulated virtually, and it is necessary to pass it also through the hands of young mechatronic students.

Uninvestigated parts of general matters defining. The questions of the networked structure of programmable logic controller devices, sensors and actuators networks are uninvestigated and therefore the next research will be focused on this.

The research objective. The main goal is to create a compact device with real models of actuators and sensors for training future application developers with a programmable logic controller. Such real objects as actuators and sensors have many properties and effects, which should be tested experimentally. There are problems with signal noise, hysteresis, dead zones, saturation, backlash, deformation effects, friction effects, thermal effects etc. Influence of these effects to control systems can be explored using the experimental works.

The statement of basic materials. Our training stands include free din rails for additional modules, which can be very easy and fast inserted into these stands. DIN rail system is frequently used in industrial racks as well. Every additional module has own screw terminal for connection to power supply and connection to programmable logic controllers.

Conclusions. Main contribution is that students will practically work with real systems with programmable logic controllers and with sensors and actuators. All theoretical knowledge can be experimentally verified on these stands equipped with additional modules with sensors and actuators.

Keywords: Programmable logic controller; controlling; hardware; sensor; actuator.

Fig.: 13. **References:** 3.

Introduction. Training stands (fig. 1) are designed for training process with programmable logic controller (also called as PLC). These stands include programmable logic controller core, human machine interface, industrial switch, power supply, circuit breaker and main backlight power switch, main and additional screw terminal. The main frame is composed of aluminium construction profiles and there are three DIN rails for placement of additional devices. Primary aim was to complete training stands as compact movable stations for fast prototyping of any control system. The idea was to include frequently used sensors and actuators for additional practical work of students in training process. Students can make training in area of sensors and actuators connecting. Understanding of these basic principles and related problems will uncover the bigger creativity of students and better adaptability to complicated industrial conditions.

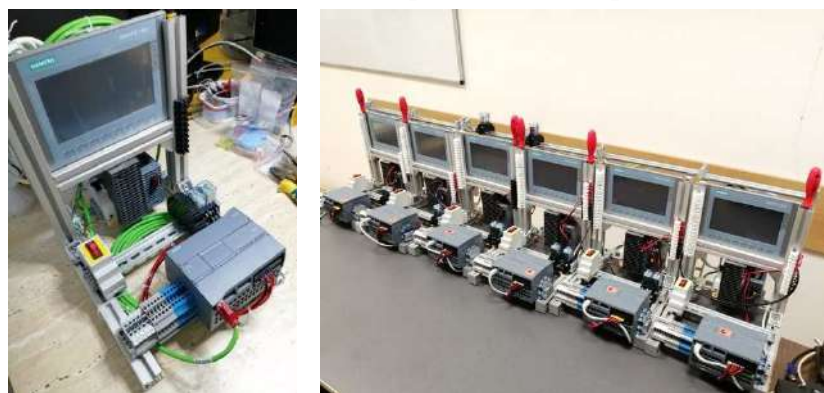


Fig. 1. Training stands with programmable logic controllers

The effort to improve the educational process was the motivation for the developing of additional modules for programmable logic controllers. Button modules and combined modules with switches, buttons, LEDs and buzzers have been created. Inductive and capacitive sensors were

used to build sensor modules. Relay modules will be used to control the actuators. Solenoid actuators were used to build additional actuator modules. Fans with BLDC motors with a size of 80 mm and a pair of fans with dimensions of 40 mm were placed on other actuator modules.

1. Switch and buttons modules. Modules - Hardware simulator (fig. 2) includes parallelly connected four toggle switches and four momentary buttons connected to +24V. It means that there are four channels of generators of logical states S1, S2, S3 and S4. These switches and buttons can simulate the limit switches, proximity switches, level switches, door switches, temperature switches, pressure switches or other two state sensors. So, it is possible to simulate real processes with logical one or logical zero. If PLC sends any logical state to its digital outputs, it is logical zero or logical one. For this purpose, there are four LED diodes with resistor for limiting of current flow to 20mA. These LED diodes can be used for visualisation of output logical state on PLC outputs. LED diodes are used instead of any real controlled devices as actuator, relay, or light tower. The hardware simulator also includes one channel with buzzer, which can be also used for connecting to any PLC digital output. Students can build any application with this hardware simulator instead of real controlled plants. This situation enables to try very dangerous situation in control process without any risk and disaster.

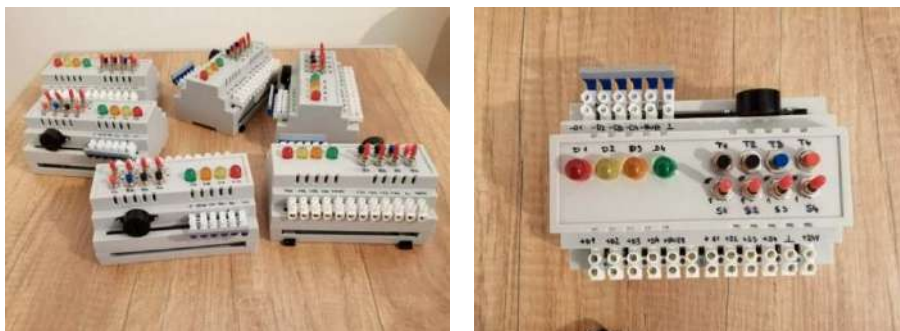


Fig. 2. Hardware simulator with toggle switches, momentary buttons, LEDs and buzzer

Modules – Buttons (fig. 3) include two momentary buttons with possibility to use normally open or normally closed mode. Switching mechanism of both buttons is covered with transparent plastic for the better visibility of working principle.



Fig. 3. Buttons modules

2. Sensor modules. First sensor module (fig. 4) consists of two pieces of inductive PNP three wire sensors. Both sensors are connected to screw terminal. Sensors have indication LED diode for signalization of metal object detection. Next sensor module (fig. 5) holds the capacitive sensor for detecting non-metal object. Detection makes a signal using the built-in LED diode. Detection distance can be adjusted with screwdriver on multi turn potentiometer. Also, this module includes the screw terminal for connecting power supply and signal cables.

3. Actuator modules. First basic part for output systems is electromagnetic relay (fig. 6), which is used for controlling of high power system, which cannot be connected directly to PLC, but it is possible to connect them to relay switching contacts. Relay is mounted on pluggable

DIN socket, which allows to change damaged relay very fast. Solenoid electromagnetic actuator is included in next module (fig. 7). The solenoid actuator is often used to perform linear movements such as servo valves for pneumatic and hydraulic systems, electronic locks, printers, copy machines, fuel systems, starter systems, water systems, gas systems, latching mechanisms, brake systems, transmission mechanisms, etc. When using a solenoid actuator, a situation may occur where the solenoid coil heats up and may be destroyed. This situation can occur if this actuator is activated for a long time. For this reason, a bimetallic thermal switch (fig. 7) is installed on the solenoid actuator coil. So, at an increased coil temperature, the electric current passing through the coils is automatically interrupted.



Fig. 4. Modules with inductive sensors

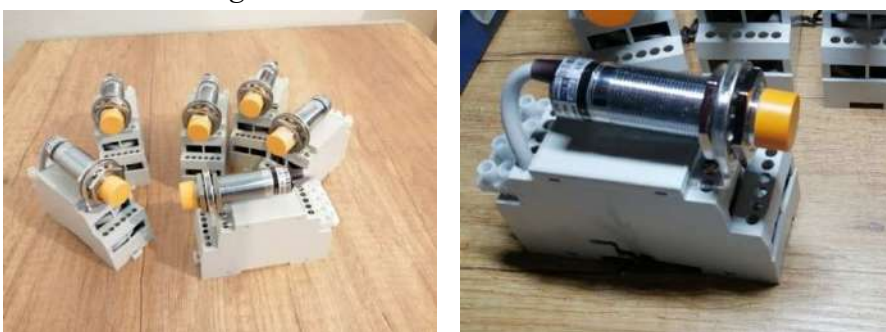


Fig. 5. Modules with capacitive sensor



Fig. 6. Relay mounted on pluggable DIN socket

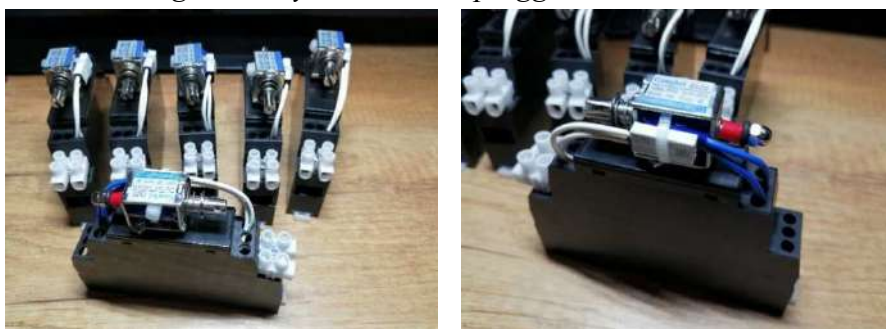


Fig. 7. Solenoid actuator modules

Rotary electrical machines are also often used in automated and mechatronic applications. DC and BLDC motors are often used mainly in smaller devices for the implementation of rotary movements or in combination with gear mechanisms also for the creation of linear motion. BLDC motors with fans are used to create additional modules (fig. 8) for training stands with programmable logic controllers. Modules (fig. 8) with a fan with a diameter of 80 mm with a protective cage and a screw terminal were created. To simulate systems with multiple actuators, modules with two fans with BLDC motors with a diameter of 40 mm with a protective cage and screw terminals were created (fig. 9).

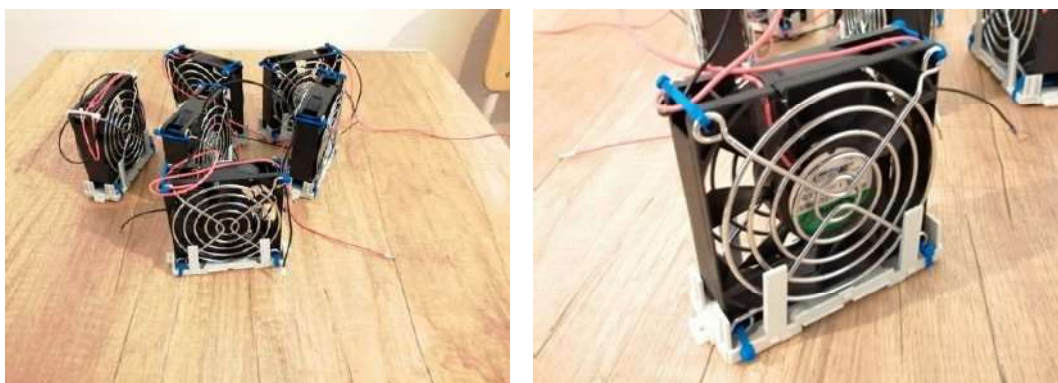


Fig. 8. Modules with 80mm BLDC fans

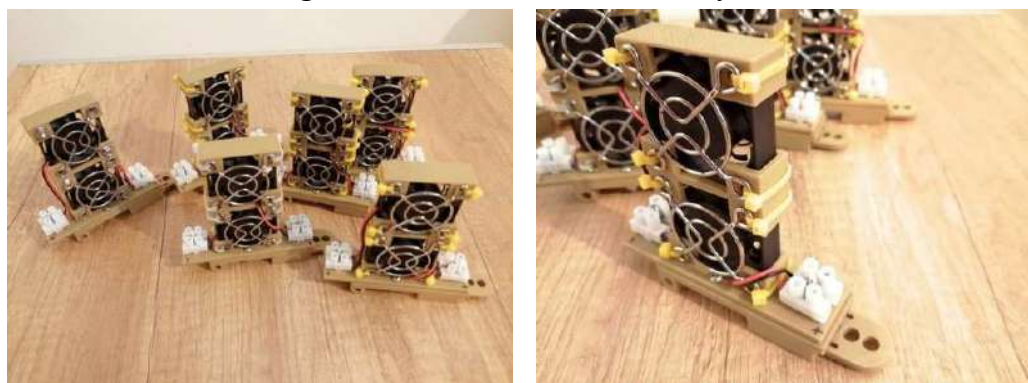


Fig. 9. Modules with double 40mm BLDC fans

4. Fully equipped training stand. The result of the development of training stands and extension modules are fully equipped workstations (fig. 10) for training and simulation of standard and industrial applications with programmable logic controllers. In addition to software, it is also possible to train hardware applications and experimentally verify proposed applications with sensors and actuators. These advanced training stations provide much more space for experimental work and testing of future applications, because in many cases only virtual experiments fail to provide reliable information about the future features of the proposed system. They are therefore a suitable addition to virtual prototypes created in simulation software, because after a successful simulation in a virtual environment, it is possible to create a real experiment with real sensors and actuators. In this concept, six working training stands were created for didactic purposes and for research work in the development of automated, mechatronic and robotic systems (fig. 11).

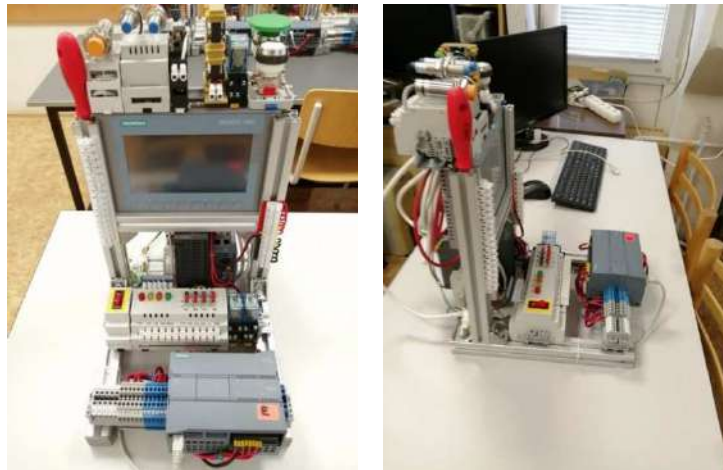


Fig. 10. Fully equipped training stands overall configuration prepared for use.



Fig. 11. Fully equipped training stands with programmable logic controllers

5. Conveyor with feed application. Figure 12 shows the example of training on training stands. Designed system consist of conveyor with tank and feed with automatic filling system. Module with inductive sensor (fig. 4) is used as proximity sensor for detection of tank and capacitive sensor (fig. 5) is used as level sensor of filled tank.

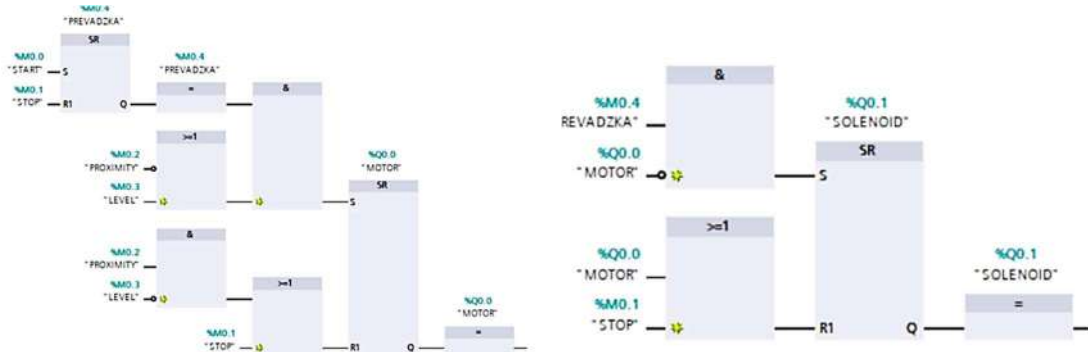


Fig. 12. Ladder diagram for control system for conveyor with tank and feed system

Module with solenoid actuator (fig. 7) is used as model for servo valve filling system and module with BLDC motor (fig. 8) is used as function model of conveyor motor. Both actuators must be used with relay switch module (fig. 6) for safe control of the system. Part of the system solution is also the design of an HMI interface for this application, in which interactive elements for control and animations for realistic display of the current state of the controlled system were also designed.

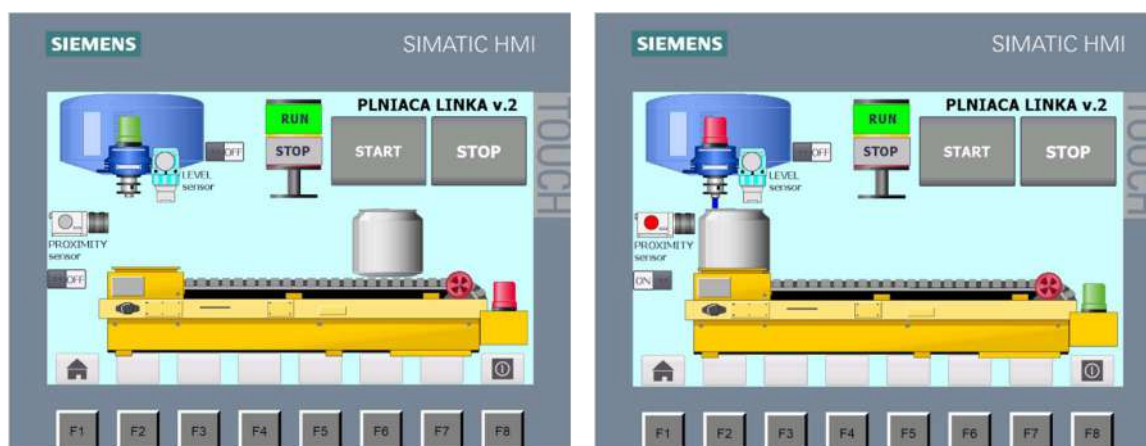


Fig. 13. Human machine interface for solved example of conveyor with tank and feed system

Conclusion. The proposed laboratory stands together with additional modules represent complex platform solutions for training and research work in laboratory conditions. Students working on these sets can verify their theoretical knowledge, but above all, they will also gain practical experience in this area and habits in working with industrial elements and systems. The whole device is compact and so it is very easy to carry it without the need to dismantle the project.

Acknowledgement. The authors would like to thank to Slovak Grant Agency – project KEGA 018TUKE-4/2018 and KEGA 030TUKE-4/2020 supported by Ministry of Education of Slovak Republic. This paper was published in cooperation with company KYBERNETES s.r.o. within the project “Research and development of the ECOGI product at KYBERNETES”, ITMS Code of Project: 313012Q955.

References

1. TURLEY, J. (2020) Embedded Processors by the Numbers, EE Times, January 1999. Available online: <https://www.eetimes.com/embedded-processors-by-the-numbers/#>. Cited 09-01-2020.
2. LANDER, A. (2019) Programmable Logic Controllers: The Evolution of a Disruptive Technology. Engineering.com. Available online: <https://new.engineering.com/story/programmable-logic-controllers-the-evolution-of-a-disruptive-technology>. Cited 09-01-2020.
3. BARRETT, M. (2008) The Design of a Portable Programmable Logic controller (PLC) Training System for Use Outside of the Automation Laboratory, International Symposium for Engineering Education, 2008, Dublin City University, Ireland, pp. 1-5.

УДК 004.4

Міхал Келемен, Яна Лігусова, Ян Лігус, Владислав Максим

ДОДАТКОВІ МОДУЛІ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ СТЕНДІВ НА ОСНОВІ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ

Актуальність теми дослідження. Програмовані логічні контролери – це пристрої, які необхідні для побудови систем керування, переважно для промислових застосувань. Тому докладаються зусилля для інтенсивного розвитку знань і навичок у цій галузі.

Постановка проблеми. Ці стенди розроблені для навчальних цілей. Програмовані контролери використовуються разом із датчиками та виконавчими механізмами. Мета полягає у проведенні тренінгу з роботи з датчиками та виконавчими механізмами для створення завершеного проєкту, подібного тому, який потрібен у промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Навчальний стенд дозволяє зробити апаратне моделювання системи управління, але також важливо застосовувати його разом з іншими реальними частинами. Надзвичайно необхідний практичний досвід спільного використання всіх компонентів. Деякі ефекти, які неможливо змодельувати віртуально, мають бути розроблені студентами-мехатроніками.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Питання мережевої структури програмованих логічних контролерів, мереж датчиків та виконавчих механізмів не досліджені, тому на цьому буде зосереджене наступне дослідження.

Постановка завдання. Основна мета полягає у створенні компактного пристрою з реальними моделями виконавчих механізмів та датчиків для навчання роботі з програмованим логічним контролером майбутніх розробників додатків. Такі реальні об'єкти, як виконавчі механізми та датчики, мають багато властивостей та ефектів, які треба перевірити експериментально. Існують проблеми із шумом у сигналах, гістерезисом, мертвими зонами, насиченням, люфтом, ефектами деформації, ефектами тертя, тепловими ефектами тощо. Вплив цих ефектів на системи керування можна дослідити за допомогою експериментальних робіт.

Виклад основного матеріалу. Наші тренувальні стенди містять вільні DIN-рейки для додаткових модулів, які можна дуже легко та швидко встановити. Система DIN-рейок часто використовується і в промислових стелажах. Кожен додатковий модуль має власний гвинтовий роз'єм для підключення до джерела живлення та підключення до програмованих логічних контролерів.

Висновки відповідно до статті. Головний внесок полягає в тому, що студенти ознайомляться на практиці з реальними системами з програмованими логічними контролерами, з датчиками та виконавчими механізмами. Усі теоретичні знання можна експериментально перевірити на цих стендах, оснащених додатковими модулями з датчиками та виконавчими механізмами.

Ключові слова: програмований логічний контролер; керування; апаратне забезпечення; датчик; виконавчі механізми.
Рис.: 13. Бібл.: 3.

Kelemen Michal – Prof. Ing., PhD., Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: michal.kelemen@tuke.sk

ResearcherID: J-2845-2013

Scopus Author ID: 8396804800

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2274-3828>

Ligušová Jana – Ing., PhD., KYBERNETES, s.r.o. (Omská 14, 04001 Kosice, Slovakia).

E-mail: jana.ligusova@kybernetes.sk

Scopus Author ID: 6507523454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2975-3992>

Liguš Jan – Ing., PhD., KYBERNETES, s.r.o. (Omská 14, 04001 Kosice, Slovakia).

E-mail: jan.ligus@kybernetes.sk

Scopus Author ID: 56407124300

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3953-8487>

Maxim Vladislav – doc. Ing., PhD., KYBERNETES, s.r.o. (Omská 14, 04001 Kosice, Slovakia).

E-mail: vladislav.maxim@kybernetes.sk

Scopus Author ID: 55320976100

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8958-4705>

UDC 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-177-183

Tatiana Kelemenová, Ondrej Benedik

DISPLACEMENT MEASUREMENT USING THE HALL EFFECT SENSORS

Urgency of the research. There are several types of measurement principles for displacement measurement. Hall effect sensor is one of them. Hall sensor has several advantages and there is a need for identification of suitable application principles.

Target setting. The selected Hall effect displacement sensors are a low-cost part, which are useful for many various applications. The aim is to identify principles and behaviours of using of these sensors in various modes.

Actual scientific researches and issues analysis. The Hall effect sensors working on effect, where magnetic array influences the output voltage on these sensors. There is a problem with definition of suitable configuration of arrangement of these sensors. It depends on polarity of magnetic array and intensity of magnetic array. Also, placement of the sensor is important for this sensing application.

Uninvestigated parts of general matters defining. The main problem is expressing of transformation characteristic, which depends on used permanent magnet as source of magnetic array. There is no regulations and recommendation for using these sensors as a displacement sensor. The question is also about the reliability of these sensors and minimum number of measurements for minimized uncertainty of measurement and stability of measured data. Long distance sensing measurements are uninvestigated, therefore the next research will be focused on this area.

The research objective. The aim is to obtain any useful experience and recommendations about the using of these sensors. Several sensors also have the hysteresis effect, which is as problem and it is parasitic effect for measurement.

The statement of basic materials. The Hall effect with ratiometric voltage output have been explored. So, it is analogue sensors with voltage reaction to changed displacement.

Conclusions. The selected explored sensors have perfect properties for displacement measurement. They are potentially applicable for very sensitive and precise measurement of displacement.

Keywords: Hall effect; displacement; measurement; magnetic array; gauges.

Fig.: 10. References: 9.

Introduction. The paper is focused on area of displacement measurement. There are many ways of measurement methods and principles as resistive sensors, capacitive sensors, inductive sensors, optical sensors etc. Hall effect sensor is another way of displacement measurement. The Hall effect is based on material sensitivity towards magnetic array. Sensor SS495A and SS49E are tested for displacement measurement. Both sensors are ratiometric linear sensor suitable for displacement measurement. Magnetic field from permanent magnet or electromagnet can be detected. In our case, the permanent magnet NdFeB (diameter 10mm, length 10 mm) will be used with axial anisotropic polarisation with remanence 1.25T and coercive force 907 kA/m. Four configurations of magnet and sensor (fig. 1) have been tested using the length gauge blocks (fig. 2). Length gauge blocks are used as etalon of displacement [1-7].

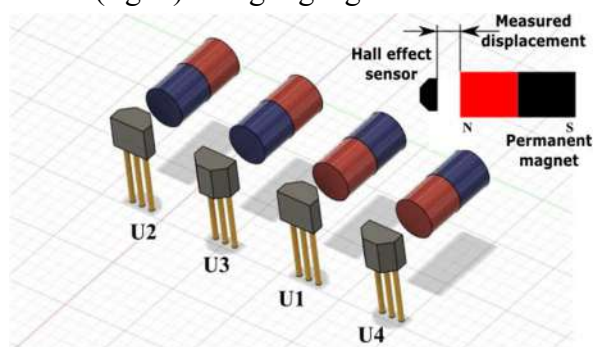


Fig. 1. Configuration U1, U2, U3, U4 of hall effect sensor with permanent magnet for displacement measurement

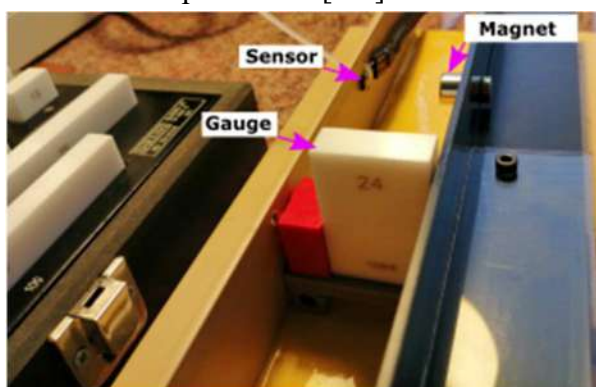


Fig. 2. Displacement sensor in test stand with gauge length block

1. Experimental verification of the sensor. Experimental verification of sensor has been executed using the length gauge blocks Fig. 2 for every millimetre of measured range. Every position has been tested ten times and average number of these measurements are shown on figure 3 and figure 4. They show results for all measurement configuration U1, U2, U3, U4 for

both explored sensors SS495A and SS49E. All measurements have been measured for approaching of magnet to the sensor and for moving away of magnet from sensor. This strategy has been used for identifying hysteresis or other parasitic effects unwanted for measurement process. Both sensors have similar characteristics (fig. 3, 4), but some configurations also have hysteresis, what is unwanted effect for measurement purposes. Hysteresis is visible on enlarged graphs on figure 5 and figure 6, where configuration U4 has the minimum hysteresis effect.

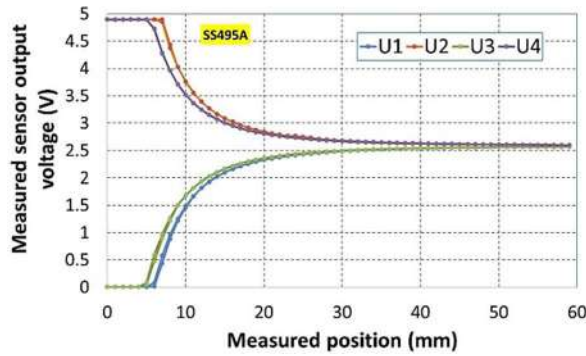


Fig. 3. Measured result from displacement measurement using the sensor SS495A for all measurement configuration U1, U2, U3 and U4

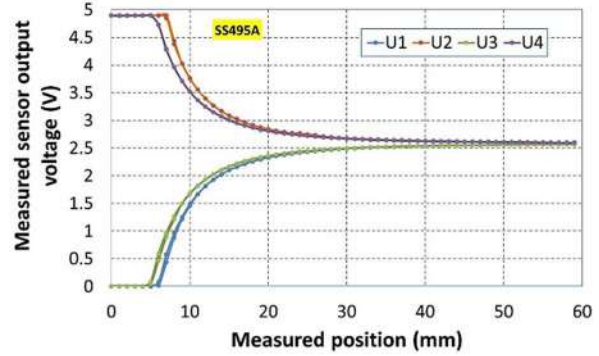


Fig. 4. Measured result from displacement measurement using the sensor SS49E for all measurement configuration U1, U2, U3 and U4

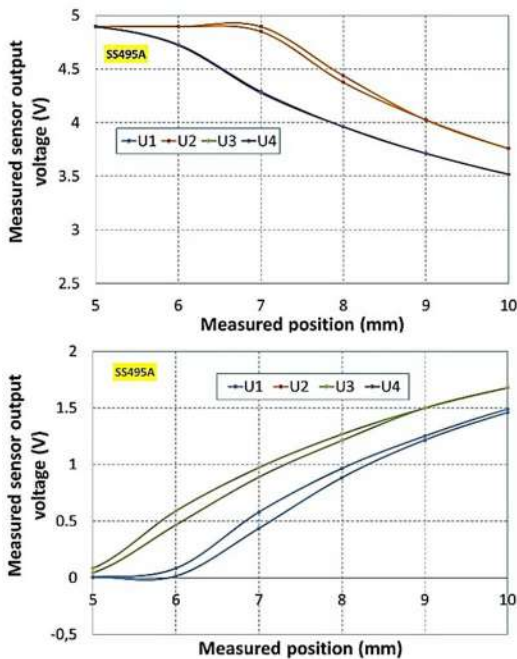


Fig. 5. Hysteresis analysis for displacement measurement using the sensor SS495A for all measurement configuration U1, U2, U3 and U4

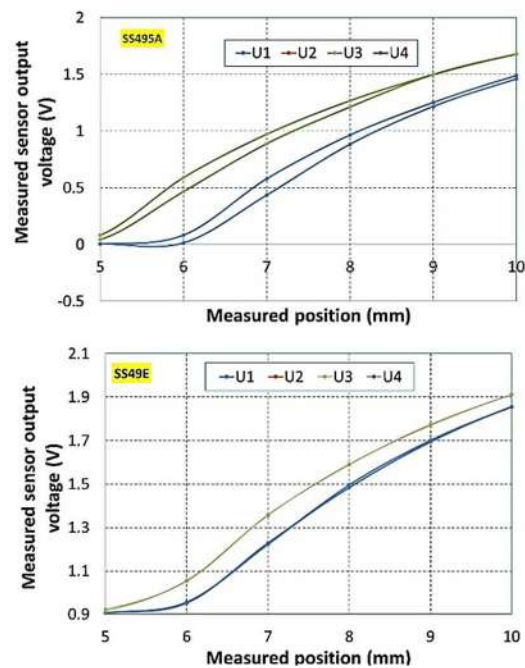


Fig. 6. Hysteresis analysis for displacement measurement using the sensor SS49E for all measurement configuration U1, U2, U3 and U4

Consequently, configuration U4 is the best from the viewpoint of hysteresis. It means that configuration U4 should be used for practical application for both sensor type. Both static characteristics of U4 configuration are converted to transform characteristics as dependence of measured position on measured sensor voltage output. Math model of these transform characteristic can be used for calculation of searched displacement from measured sensor output volt-

age. Fitting of these experimental data using the regression analysis using the least square methods is shown on figure 7 and 8. Various types of approximation function have been tested for these characteristics and polynomial function looks like the best approximation (fig. 7, 8). But also, approximation by polynomial function was also a problem, because of atypical shape of characteristic. For this reason, the usable measurement range had to be decreased for further displacements from sensor. Consequently, for reduced measurement range both characteristics were successfully fitted using the polynomial functions (fig. 9 and 10).

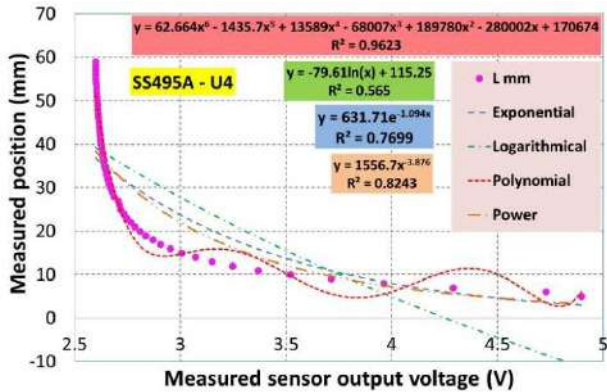


Fig. 7. Regression analysis for displacement measurement using the sensor SS495A for measurement configuration U4

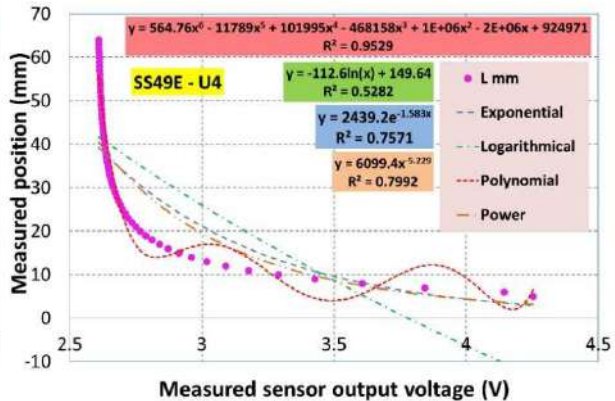


Fig. 8. Regression analysis for displacement measurement using the sensor SS49E for measurement configuration U4

Measurement range for sensor SS495A is defined in interval from 5mm to 25mm and for sensor SS49E the interval is defined from 5mm to 30mm. Therefore, the sensor SS49E has a bit larger measurement range (fig. 7 and 8).

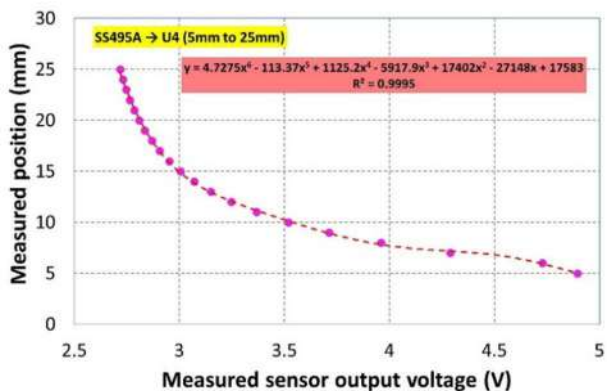


Fig. 9. Polynomial fitting for displacement measurement using the sensor SS495A for measurement configuration U4

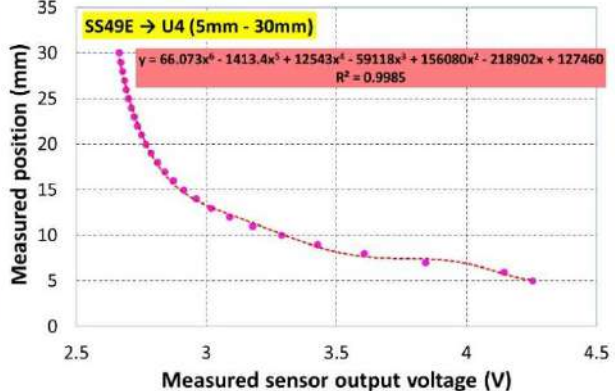


Fig. 10. Polynomial fitting for displacement measurement using the sensor SS49E for measurement configuration U4

2. Reliability of measurement on explored sensors. Reliability gives information about consistency of measurement results for multiply repeated measurements of any quantity. Reliability describes the stability of process of finding the measurement of measurement quantity. For this purpose, a hundred measurements have been executed for 6 selected values of both sensors (fig. 11 and 12).

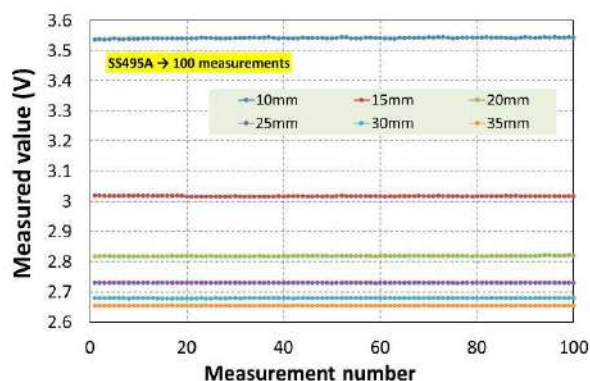


Fig. 11. Hundred measurement for sensor SS495A for measurement configuration U4

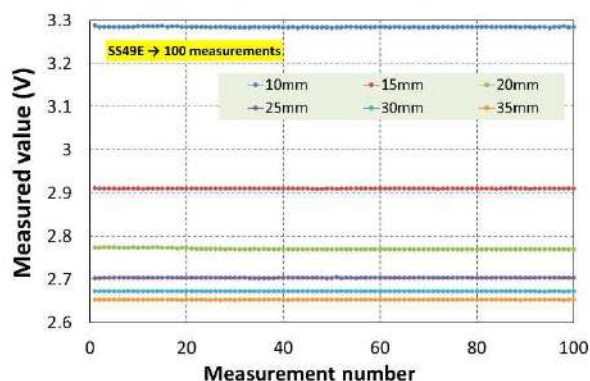


Fig. 12. Hundred measurement for sensor SS49E for measurement configuration U4

The measured data have been captured with one second sampling time. Measured values (fig. 11 and 12) show the perfect time stability of measurement signal. Both graphs are between similar limits so, from this viewpoint, both sensors are comparable. From this data the cumulated standard deviations have been made (fig. 13 and 14).

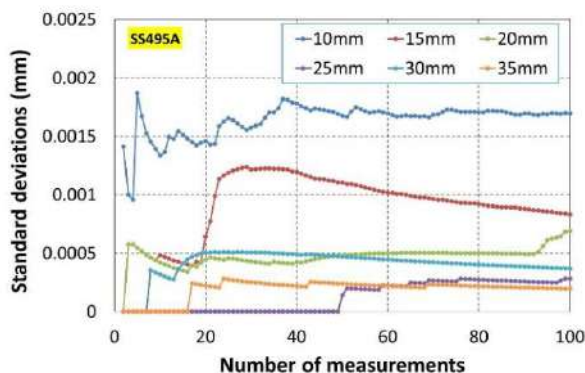


Fig. 13. Cumulated standard deviations for sensor SS495A for measurement configuration U4

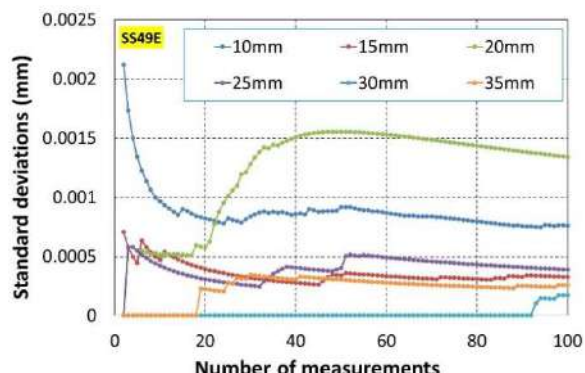


Fig. 14. Cumulated standard deviations for sensor SS49E for measurement configuration U4

Measured data shown on figure 11 and 12 also can be interpreted in different forms. It is possible to make average number for all cases, and maximum error index from the average. For evaluation, it is better to express relative error for both sensors and for all measured values (fig. 15). This graph shows that both sensors are comparable approximately on one level of accuracy. Both sensors have relative error less than 0.25%. It means that these sensors are also perfect from the viewpoint of accuracy of measurement. In addition, it is necessary to say, that these errors also include the error of multimeter (not only for sensor). The error is larger for smaller displacements. The best error index is for displacement of 30 mm and 35 mm. For these values, the error is less than 0.05%. This value means that both these sensors are very accurate (fig. 15). This error can be reported into overall uncertainty of measurement.

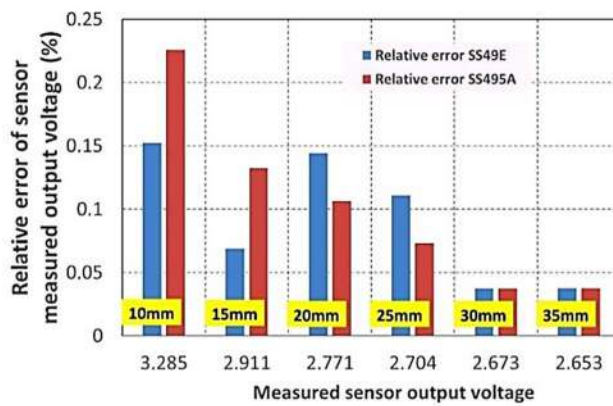
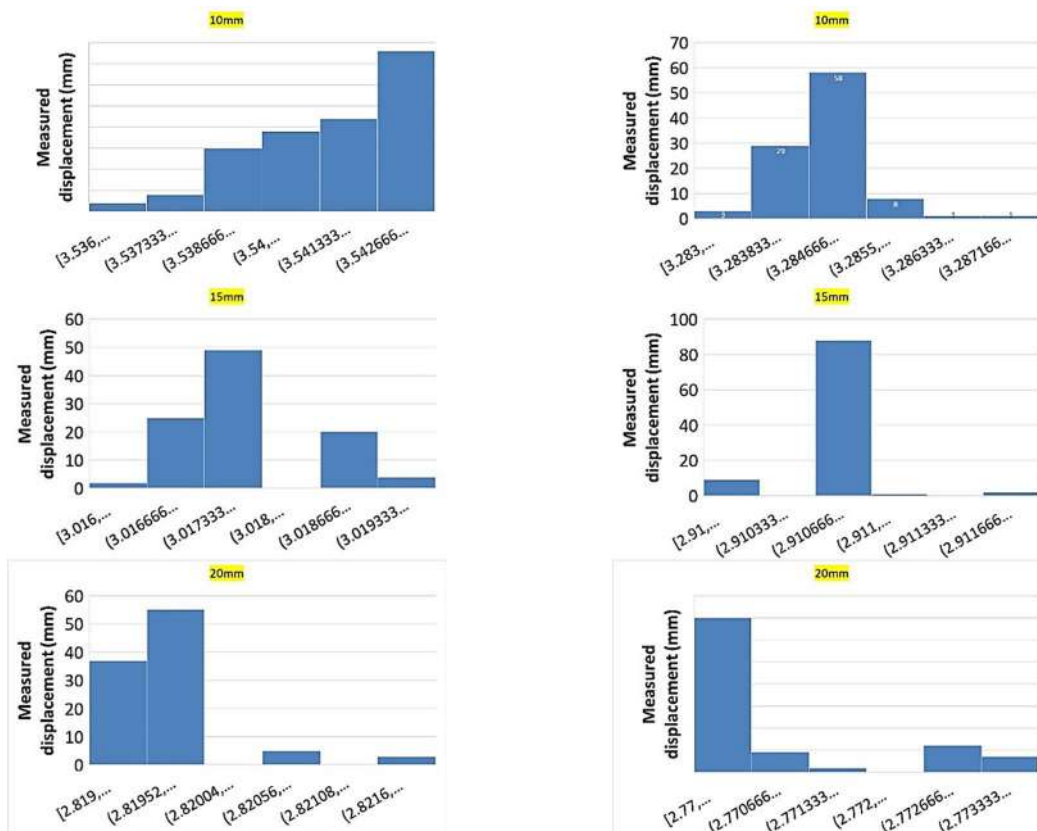


Fig. 15. Relative error for sensor SS495A and SS49E for measurement configuration U4.

Data obtained from the measurement made for reliability exploring, can be used also for evaluation of probability distribution. Figure 16 and 17 shows the histograms for selected nominal values. The histograms confirmed that it is not possible to express them using the gauss normal distribution function. In this case, it is better to use uniform distribution, because the probability of all values in measured range is equal. The knowledge of probability distribution is necessary for expressing of expanded uncertainty, where it is necessary to use the coverage factor, which depends on probability distribution of measured data. In addition, these histograms include influence of used multimeter. The used multimeter has datasheet with declared maximum error with value 0.5 % of measured value and it means that sensors have probably much better accuracy than our exploring shows.



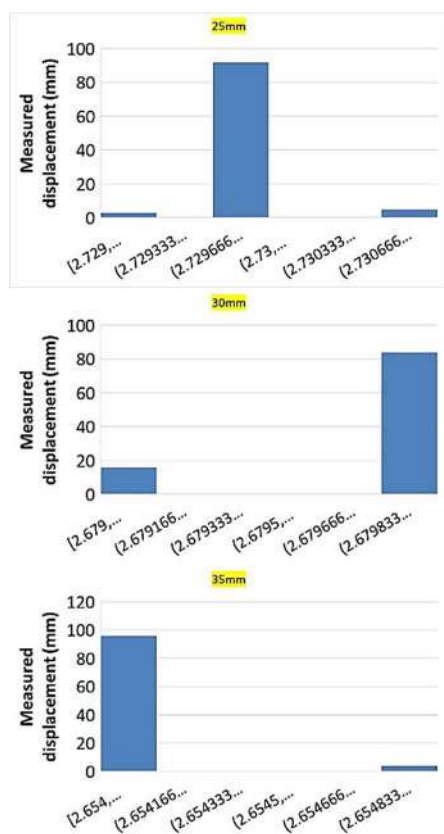


Fig. 16. Histograms for sensor SS495A for measurement configuration U4.

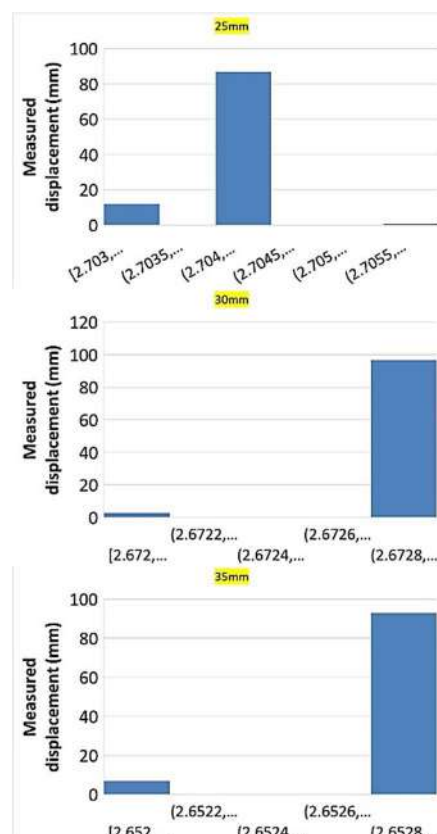


Fig. 17. Histograms for sensor SS49E for measurement configuration U4.

Conclusion. Thanks to mass production, the hall effect sensors are economically perfect selection for realisation of displacement measurement. The experiments show that configuration U4 (North pole of magnet oriented to larger area of sensor) is the best for measurement purposes for both explored sensors. It is possible to make transformation characteristics for implementation to controller program to recalculate voltage to displacement information. Next experiments confirm the perfect time stability of output signal and relative error of both sensors are less than 0.25% of measured value. Histograms show that standard distribution probabilities cannot be used for description of these sensors, so uniform probability distribution is recommended to use for expressing of measurement uncertainties.

Acknowledgement. The work has been accomplished under the research project APVV-15-0149, VEGA 1/0224/18, KEGA 006STU-4/2018 financed by the Slovak Ministry of Education. This paper was published in cooperation with company KYBERNETES s.r.o. within the project "Research and development of the ECOGI product at KYBERNETES", ITMS Code of Project: 313012Q955.

References

1. EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration. Publication Reference. European Accreditation Laboratory Committee. September 2013 rev 01. cited August, 8th, 2019. Available online: <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ea-4-02-m-rev01-september-2013.pdf>. EA-4/02 is a mandatory document belongs to Category: Application documents and Technical Advisory documents for Conformity Assessment Bodies.
2. National translation MSA-L/12 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration (EA-4/02 M:2013).
3. ISO 3650:1998(E) International Standard, "Length standards – Gauge Blocks," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

4. ISO 10360-7:2011 Geometrical product specifications (GPS) -- Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) -- Part 7: CMMs equipped with imaging probing systems.

5. KELEMEN, M. (2019) Experimental identification of sensitivity of tilt sensor. In: Technical Sciences and Technologies. Chernihiv National University of Technology, Vol. 18, No. 4 (2019), ISSN 2411-5363. p. 115-121.

6. CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M. (1999). Measurement of technical quantities (in Slovak). Edition of STU, 1st. ed., 1999. ISBN 80-227-1275-2

7. JCGM 100 – Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (ISO/IEC Guide 98-3). First edition September 2008. Available online: <http://www.iso.org/sites/JCGM/GUM-JCGM100.htm>; http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum_print.html

8. WIMMER, G., PALENČÁR, R., WITKOVSKÝ, V. (2001). Stochastic models of measurement. (In Slovak) Graphic Studio Ing. Peter Juriga, L. Fullu 13, 841 05 Bratislava. 1st. ed., 2001. ISBN 80-968449-2-X.

УДК 004.4

Тетяна Келеменова, Одрей Бенедик

ВИМІРЮВАННЯ ЗМІЩЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАТЧИКІВ ХОЛЛА

Актуальність теми дослідження. Існує кілька принципів вимірювання зміщення. Датчик на основі ефекту Холла є одним із них. Датчик Холла має кілька переваг і існує необхідність визначити відповідні принципи застосування.

Постановка проблеми. Вибрані датчики переміщення на основі ефекту Холла є дорогими, що є корисним для різних застосувань. Мета полягає у визначенні принципів та поведінки при використанні цих датчиків у різних режимах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Датчики Холла працюють на ефекті, коли магнітна матриця впливає на вихідну напругу цих датчиків. Виникає проблема з визначенням відповідної конфігурації розташування цих датчиків. Це залежить від полярності й інтенсивності магнітного масиву. Крім того, важливим для цього застосування є розміщення датчика.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Основна проблема полягає у вираженні характеристики перетворення, яка залежить від постійного магніту, використаного в якості джерела для магнітної матриці. Немає ніяких правил і рекомендацій із використання цих датчиків як датчика зміщення. Питання також у надійності цих датчиків і мінімальній кількості вимірювань для забезпечення мінімальної неточності вимірювань і стабільності вимірюваних даних. Вимірювання цими датчиками на великих відстанях не досліджені, тому наступне дослідження буде зосереджене на цих питаннях.

Постановка завдання. Метою є отримання корисного досвіду та рекомендацій щодо використання цих датчиків. Кілька датчиків також мають ефект гістерезису, що також є проблемою, і це паразитний ефект при вимірюваннях.

Виклад основного матеріалу. Досліджено ефект Холла за коефіцієнтом вихідної напруги. Отже, це аналогові датчики з реакцією напруги на зміщення.

Висновки. Вибрані досліджені датчики мають відмінні властивості для вимірювання зміщення. Вони потенційно підходять для дуже чутливого і точного вимірювання зміщення.

Ключові слова: ефект Холла; зміщення; вимірювання; магнітна решітка; датчики.

Fig.: 10. References: 8.

Kelemenová Tatiana – doc. Ing., PhD., Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: tatiana.kelemenova@tuke.sk

Scopus Author ID: 55260126300

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9201-7517>

Benedik Ondrej – Ing., KYBERNETES, s.r.o., Kosice (Omská 14, Kosice, 04 001, Slovakia).

E-mail: ondrej.benedik@kybernetes.sk

Scopus Author ID: 57218557919

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5179-0880>

UDC 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-184-189

Lubica Miková

CONTROLLER DESIGN FOR DC MOTOR

Urgency of the research. DC motors are very important and therefore great attention is paid to their development and production. DC motors are used wherever a wide range of speed control is required, or where starting conditions are difficult. They are characterized by simple speed controllability and reliability.

Target setting. The article deals with the analysis of a DC motor with a focus on speed control using the design of a PI controller. Matlab / Simulink software is used for simulation.

Actual scientific researches and issues analysis. The PI controller is the most common combined controller because it has an almost universal use. In a closed loop control system, it eliminates permanent control deviation and improves stability. At the beginning of the control, the influence of the proportional term prevails, with increasing time the influence of the integration term prevails.

Uninvestigated parts of general matters defining. Another task will be to verify the proposed PI controller on a real motor.

The research objective. The main aim was to create control of a DC motor using a PI controller. The proposed control system regulates the motor speed with zero control deviation.

The statement of basic materials. It is a type of electric motor powered by direct current. The main advantages include versatility and simplicity.

Conclusions. The aim of the article was to create a mathematical model, which is the main building block for simulations in a computer environment. Based on the available parameters of the selected DC motor, this mathematical model and its functionality were simulated. Subsequently, the PI controller is designed and its simulation with different load characteristics.

Keywords: DC motor; speed; mathematical model; Matlab/Simulink.

Fig.: 12. Table: 1. Reference: 10.

Introduction. Today, we encounter the problem of controlling DC motors in almost every place. We can find them in various household appliances, work tools, also in vehicles or in industry. Each of these sectors has its own requirements for quality and accuracy of control. An important factor in control is to decide between quality, quantity, and area of use. Obviously, the more precise and high-quality control is needed, the higher the implementation costs, but it is also important that an accurate and costly controller is not always available. Most used actuator in mechatronics motion control applications is DC motors. Despite a variety of resources that propose different selections and design of control strategies to control motions in desired fashion, for instant, most control system used are based on convention PID controller [1-7].

Mathematical model of DC motor. It is a type of electric motor powered by direct current. The main advantages include versatility and simplicity. Due to the fact that the speed of a DC motor is directly proportional to the magnitude of the supply voltage, it is possible to achieve almost any speed compared to AC motors, of course with regard to the mechanical properties of the electric motor.

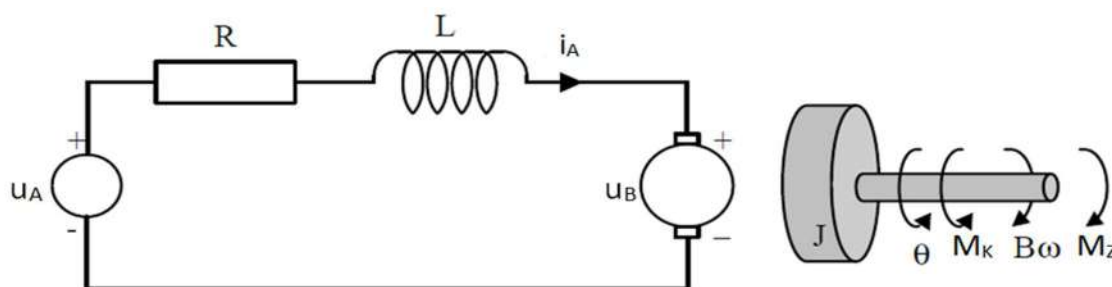


Fig. 1. Model of DC motor

The DC motor model is characterized by the following relationships:

Electrical part of DC motor:

$$Ri_A(t) + L \frac{di_A(t)}{dt} = u_A(t) - k_M \omega(t)$$

and the transfer function:

$$\frac{I_A(s)}{U_A(s) - k_M \Omega(s)} = \frac{1}{R + Ls}$$

Table

Parameters of simulation

u_A	motor armature voltage
i_A	current
u_B	feedback voltage
R	resistance
L	inductance
J	moment of inertia of the motor
B	viscous motor and load friction
k_B	feedback constant
k_m	motor constant
M_Z	load moment
M_K	motor driving torque

Mechanical parts of DC motor and their transfer functions:

$$M_K(t) = k_M i_A(t);$$

$$\frac{M_K(s)}{I_A(s)} = k_M;$$

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) = M_K(t) - M_Z(t);$$

$$\frac{\Omega(s)}{M_K(s) - M_Z(s)} = \frac{1}{Js + B};$$

$$u_B(t) = k_M \omega(t);$$

$$\frac{U_B(s)}{\Omega(s)} = k_M.$$

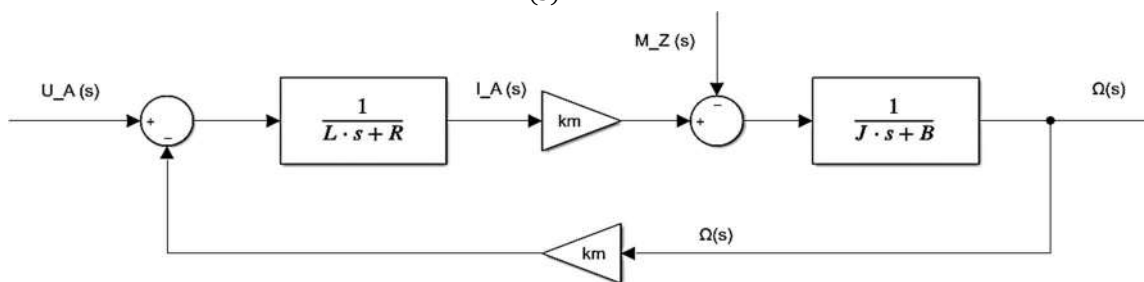


Fig. 2. Mathematical model of DC motor

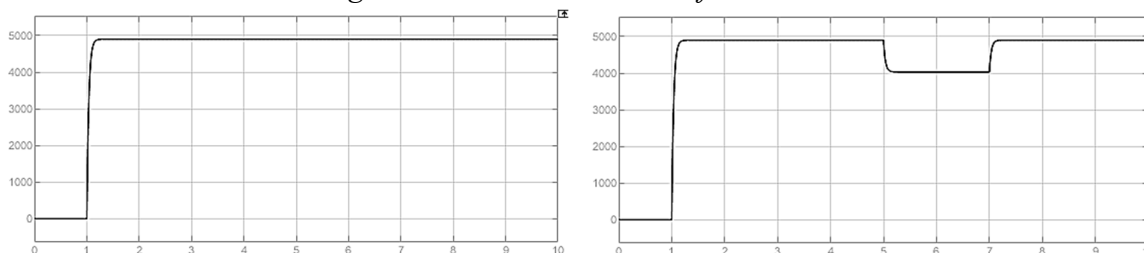


Fig. 3. Speed of DC motor without and with load [rpm]

In Fig. 3 is possible to see the reason for the need to apply the controller.

PI control of a DC motor. The controller is used mainly in the industrial sector, which contains the Proportional, Integration and Derivative components. It is the task of minimizing the control deviation obtained as the difference between the output value measured by the sensor and the desired value. The P component takes into account current errors, the I component collects past errors, and the D component predicts future errors based on the rate of change of current errors [8-10]. The transfer function is:

$$G_R(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_p s + K_i + K_d s^2}{s}$$

Pole placement method. An assisted pole placement method has been proposed to help the designers in their choice of the design parameters. Once the desired rise time, settling time and percentage of overshoot of the step response of the closed-loop system with respect to a reference change have been specified, the computation of the controller is performed automatically [9]. By suitable positioning of the poles, it is possible to influence the stability or periodicity of the control output [3].

Controller design considers a 3rd order system, characteristic equation has the form:

$$G_{3R}(s) = \frac{k\omega_0^2}{s^3 + (2\xi k)\omega_0 s^2 + (1 + 2\xi k)\omega_0^2 s + k\omega_0^3}$$

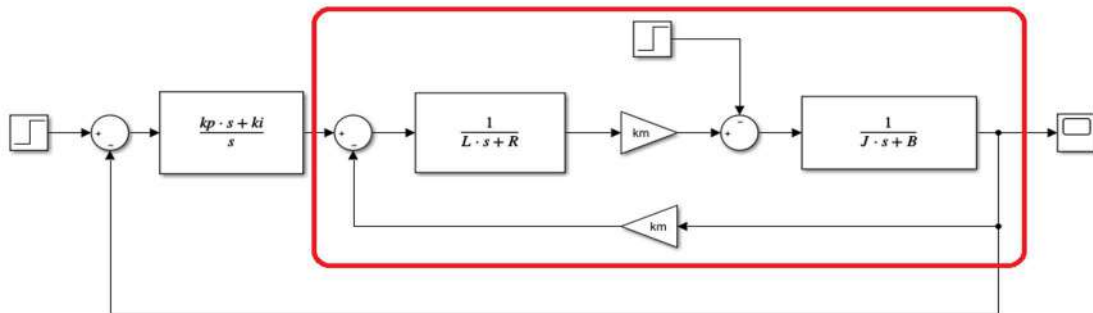


Fig. 4. Closed-loop control system

By simplifying the block scheme, we get the final transfer function of control system:

$$G(s) = \frac{kmk_p s + km * K_I}{LJ s^3 + (LB + RJ) s^2 + (RB + km^2 + kmk_p) s + kmk_I}$$

The PI controller constants are obtained by comparing the coefficients of the characteristic equation of the desired and the final transfer function:

$$K_I = \frac{k\omega_0^3 L J}{km}$$

$$K_P = \frac{(1 + 2\xi k)\omega_0^2 L J - RB - km^2}{km}$$

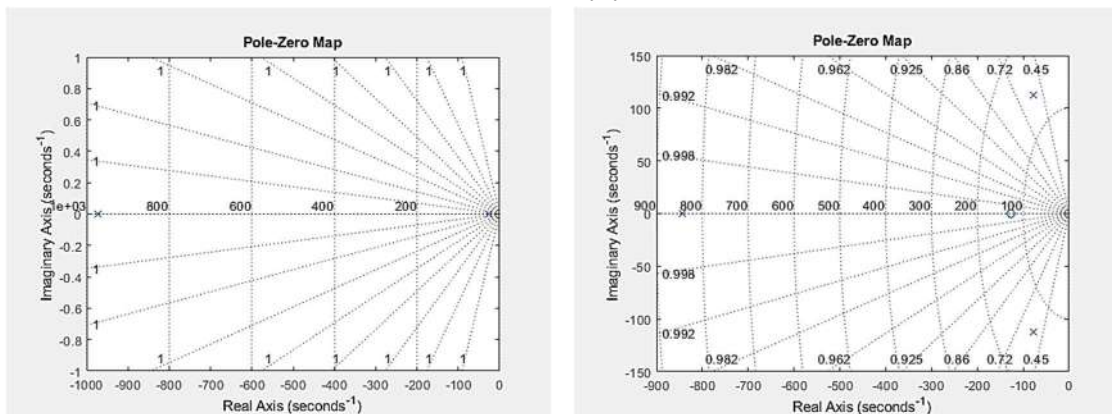


Fig. 5. Pole position uncontrolled and controlled system

Verification of the functionality of the control was simulated under the action of two type disturbance variables.

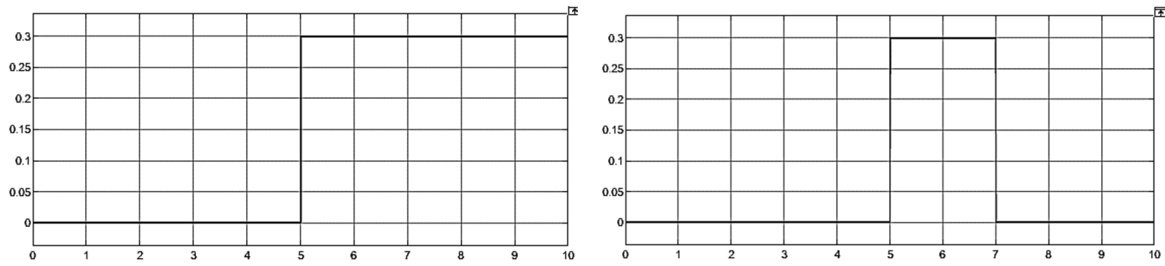


Fig. 6. Disturbance variables (constant and square load)

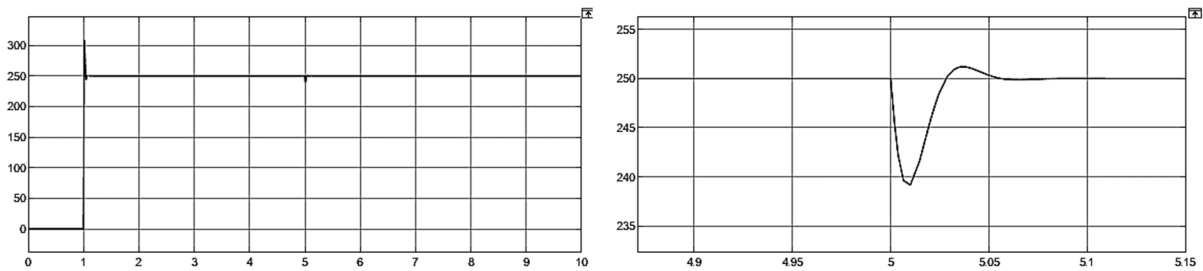


Fig. 7. Speed of DC motor at constant load

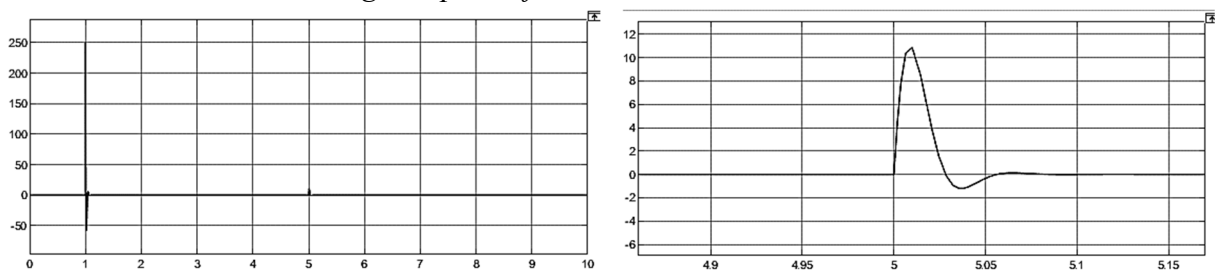


Fig. 8. Control deviation of closed-loop control system at constant load

One of the important factors for the control of the DC motor is the intervention of the action variable in the change of the load, which is on Fig. 9.

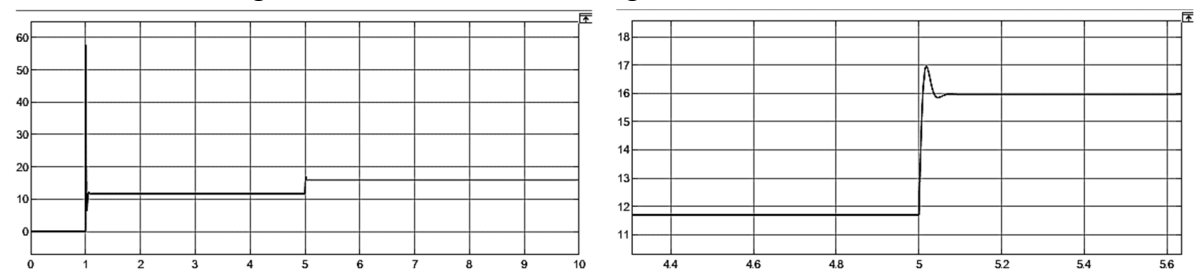


Fig. 9. The course of the action variable at constant load

During a square load, the load is characterized according to Fig. 9. In practice, such a situation may occur when connecting a load using a coupler and then disconnecting it. As in the previous case, it is necessary to monitor the output parameters to verify the correct operation of the close loop control system.

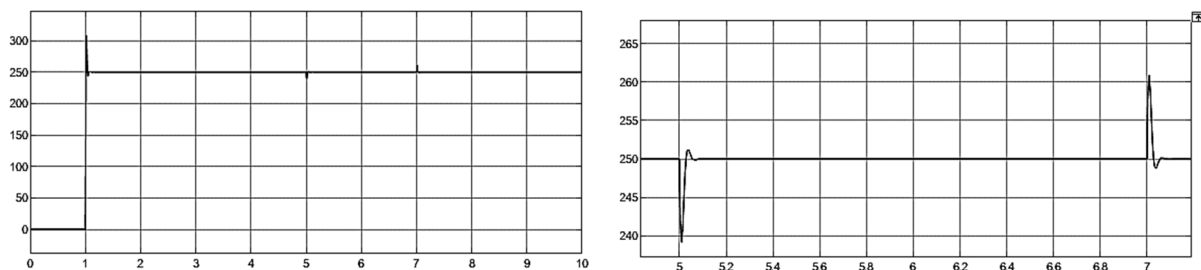


Fig. 10. V Control deviation of closed-loop control system at square load

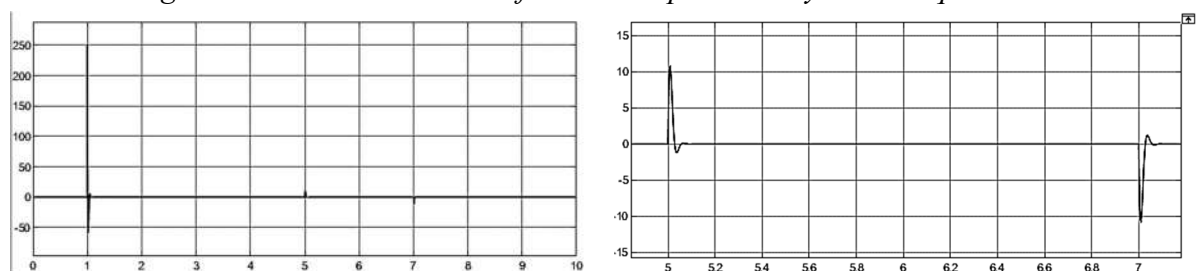


Fig. 11. Control deviation of closed-loop control system at square load

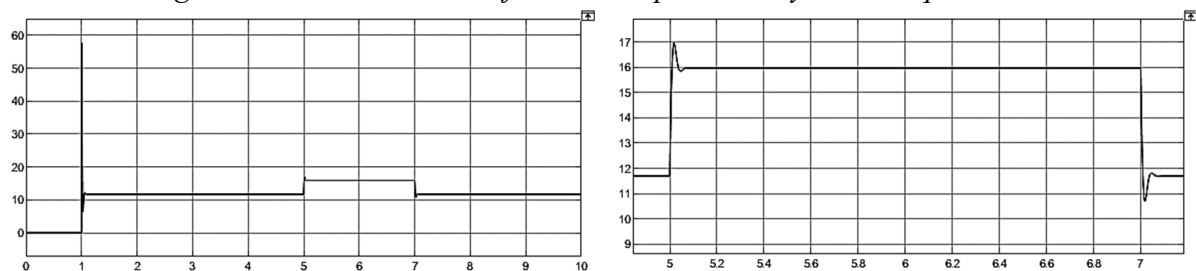


Fig. 12. The course of the action variable at square load

Conclusion. In everyday life, we encounter electric motors of any kind very often and due to the growing tendency to automate all previously manually controlled or controlled activities, it will be even more common in the future, so it is important in technical practice to know the basic components of electric motors and various control options. It was ultimately possible to improve this technology and minimize possible failures during the cycle. The aim of the article was to create a mathematical model, which is the main building block for simulations in a computer environment. Based on the available parameters of the selected DC motor, this mathematical model and its functionality were simulated. Subsequently, the PI controller is designed and its simulation with different load characteristics. From the simulation, the PI controller reacts to changes in load quickly and efficiently, what corresponds to zero control error in steady space.

Acknowledgement. This research was funded by Slovak Grant VEGA 1/0389/18 “Research on cinematically redundant mechanisms”.

References

1. Alotaibi A.M. (2013) Modeling and Motion Control Selection and Design of Electric Motor for Mechatronics Robotics Applications. *International journal of control, automation and systems*, vol. 1, no 2, ISSN 2165-8277.
2. Jamal A. M. (2011) Modeling, Analysis and Speed Control Design Methods of a DC Motor. *Eng. & Tech. Journal*, Vol. 29, No. 1.
3. Miková, Ľ., Virgala, I., Kelemen, M. (2016). Speed control of DC motor. *American Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 4, no. 7 (2016), p. 380-384. - ISSN 2328-4102.
4. Timko, J., Žilková, J., Dudrik, J., Girovsky, P. (2009). Elektrické akčné členy a pohony. *Košice FEI TU*.

5. Isermann, R. (1998). Mechatronic systems - Innovative products with embedded control. *Control Engineering Practice* 16, (pp. 14-29).
6. Jae-Bok, S., Kyung-Seok, B. (19988). Throttle actuator control system for vehicle traction control. *Department of Mechanical Engineering, Korea University*.
7. Horn, J. (1999). Neural adaptive tracking control of a DC motor. *Informat Sci*.
8. Farid, M. (2008). PID controller design for controlling DC motor speed using Matlab application. *University Malaysia Pahang*.
9. Kinnaert, M., Peng, Y., (1995). Digital Control Systems Implementation Techniques. *Control and Dynamic Systems*.
10. Pavković, D. (2003). Identification and control of electronic throttle drive. *Master's thesis, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, Croatia*.

УДК 004.4

Любіца Мікова

РОЗРОБКА РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Актуальність теми дослідження. Двигуни постійного струму (ДПС) є дуже важливими в сучасному світі, тому їх розробці та виробництву приділяється велика увага. Вони використовуються там, де існує потреба регулювання швидкості в широкому діапазоні або присутні важкі умови запуску. Вони відрізняються простою керування та високою надійністю.

Постановка проблеми. Стаття присвячена аналізу двигуна постійного струму з акцентом на регулювання швидкості з використанням пропорційно-інтегрального (ПІ)-регулятора. Для моделювання використовується програмне забезпечення Matlab/Simulink.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ПІ-регулятор є одним з найбільш поширених комбінованих регуляторів та має універсальне застосування. В системі управління зі зворотним зв'язком він усуває постійне відхилення регулювання і покращує стабільність. Він характеризується тим, що в початковий момент збурення переважає вплив пропорційного регулятора, а потім - інтегрального.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не до кінця дослідженим є питання розробки ПІ-регулятора з урахуванням параметрів реального двигуна.

Постановка завдання. Основною метою було створити систему управління двигуном постійного струму за допомогою ПІ-регулятора. Запропонована система управління регулює швидкість двигуна з нульовим відхиленням по управлінню.

Виклад основного матеріалу. Запропоновано математичну модель, що дозволяє проводити моделювання та аналіз системи управління ДПС на основі ПІ-регулятора. Наведено результати моделювання для різних типів збурень в програмному комплексі Matlab/Simulink.

Висновки. Створено математичну модель, яка є основою для моделювання системи управління ДПС на основі ПІ-регулятора в комп'ютерному середовищі Matlab/Simulink. На основі доступних параметрів вибраного двигуна постійного струму було промодельовано роботу системи управління стосовно стабілізації швидкості. В подальшому планується розробка ПІ-регулятора та його моделювання з різними характеристиками навантаження.

Ключові слова: двигун постійного струму; швидкість; математична модель; Matlab/Simulink.

Рис.: 12. Табл.: 1. Бібл.: 10.

|| Miková Lubica – doc. Ing., PhD., Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovakia).

|| E-mail: lubica.mikova@tuke.sk

|| Scopus Author ID: 55259674100

UDC 612.86:62-55

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-190-197

Róbert Rákay, Alena Galajdová

**CONCEPT FOR PHYSIOLOGICAL FUNCTION MONITORING
WITH WEARABLE SENSORS**

Urgency of the research. Modern trends in the automation focus on the implementation of new technologies in people's daily lives, regardless of whether they are healthy or not. The overall health status monitoring became easier nowadays by developing intelligent wearable devices.

Target setting. Wearable devices must be non-invasive, comfortable, very light, and with unobtrusive design. The latest technological solutions in microcontroller, communication and sensing technologies provide significant advantages in terms of wireless monitoring of various parameters.

Actual scientific researches and issues analysis. When preparing this article, various publicly available journals, datasheets and experimental solutions were analyzed. Conclusions of other experiments were used to create the knowledge base on this research topic as well.

Uninvestigated parts of general matters defining. There are many technologies for sensing various physiological parameters and for communication that work online and offline from various vendors. This paper is not enough to describe and analyze them.

The research objective. In this article, the design factors and concepts of wearable monitoring systems were analyzed. The results of the article form the basis for further development of an integrated complex wearable device with an identification system.

The statement of basic materials. People should be monitored to predict future infections or prevent the spread of the disease. The use of compact solutions in health monitoring, such as sensors, microcontrollers with integrated communication technologies, provide a good basis for solving such problems as necessary monitoring of physiological condition.

Conclusions. The proposed paper deals with the properties that need to be assumed when designing a carrier device. The proposed system can provide useful information about the user's health, and the aim of the design was to find the cheapest solution for university environment.

Keywords: automated monitoring, sensing, physiological parameters

Fig.: 4. References: 8.

Introduction. Systems with non-invasive and unobtrusive sensors can be used in many applications. They can be diagnostic tools for healthcare professionals who monitor patients remotely or for people who are interested in monitoring their own physiological functions, for example, during real-time physical activities. These devices can consist of various types of flexible sensors, which can be integrated, for example, into textile fibers, clothing, elastic patches or are directly connected to the human body. Sensors can measure physiological signals such as electrocardiogram, electromyogram, heart rate, arterial oxygen saturation (SpO₂), blood pressure, and respiratory rate. In addition, the micro-electro-mechanical systems MEMS include miniature motion sensors such as accelerometers, gyroscopes, that sense signals related to human movements. Continuous monitoring of physiological signals was primarily intended for the diagnosis and early detection of several cardiovascular, neurological and pulmonary diseases in the initial stages. Therefore, it is understandable, that wearable sensors play an important role in monitoring systems [1, 2].

Intelligent devices with information and communication technologies lead to developing smart cars, houses, cities, which are a trend of the present and a vision of the future. There is a wide range of innovative devices in this area that make people's lives easier. Especially for patients who suffer from chronic diseases, as their remote monitoring helps healthcare professionals to apply the necessary treatment in a timely or daily physiological parameters monitoring.

The current situation of the COVID-19 pandemic requires the necessary measures to be taken to protect society and oneself. Wearing protective drapes, thorough hygiene and compliance with mandatory quarantine are the basic steps for protection against the virus. The main symptoms are high fever, dry cough and breathing difficulties. The virus itself in the early stages behaves as a common flu, but its consequences can be fatal.

The design of the device is created to help schools in the daily prevention of students' infection and in monitoring their presence. The main physiological parameter under analysis when students enter the school area is their body temperature.

Internet of Things (IoT). The Internet of Things refers to the large number of "things" that are connected to the Internet. Their main task is to share data with other things such as Internet applications, connected devices, industrial machines, etc. Devices connected to the Internet use built-in sensors to collect data, and in some cases respond to collected data. IoT can improve the way we work and live. Examples of the real Internet of Things range from a smart home that automatically adjusts heating and lighting to a smart factory that monitors industrial machinery, which performs real-time diagnostics and the necessary optimization to prevent failures [2, 3].

IoT in healthcare. Health services are more expensive than before, the world's population is ageing, and the number of chronic diseases is rising. We are approaching a world where basic health care would be inaccessible to most people. While technologies cannot prevent the population from ageing, chronic diseases, they can at least facilitate health care in terms of access. IoT technology can move routine medical examination from the hospital to the patient's home. Very often proper diagnosis will also reduce the need for hospitalization. The full implementation of IoT in healthcare allows healthcare centers to be more competent and the patient to receive better treatment. The use of this technology-based medical method has many advantages that could improve the quality and effectiveness of treatment and improve patients' health accordingly.

Choice of connection technology. Choosing the most appropriate connection technology is one of the most important decisions to be made in IoT deployment strategy, as connectivity is an integral part of the final IoT solution for end-users. The choice of an appropriate communication method is based on several factors, including the distance or range of the connection, the connection rate, and the power consumption level of the device. The ratio of distance and connection speed for different wireless communication technologies is shown on Fig. 1.

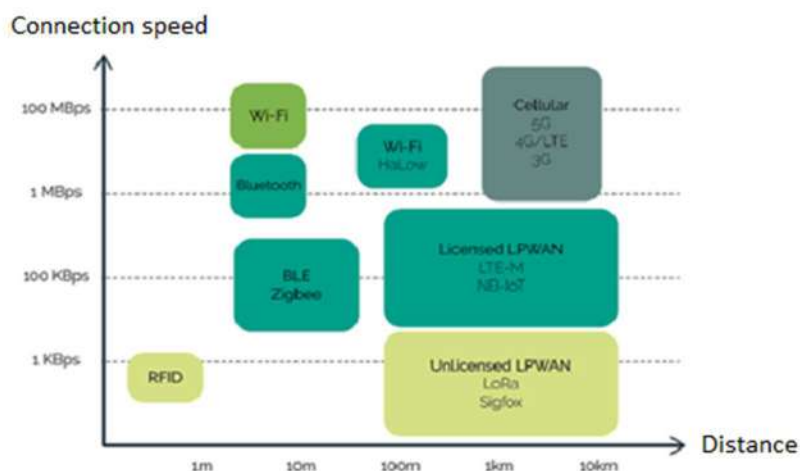


Fig. 1. Comparison of communication technologies

Cloud. The concept of Cloud when it comes to technology or computer science is nothing new. If we imagine the Internet as a virtual space that connects users from all over the world, it is a cloud. It shares resources, software, and information over a network. Information and data are stored on physical or virtual servers that are maintained and controlled by the cloud provider. The user accesses his information via an Internet connection. Cloud offers several services, the most well-known include cloud storage and cloud computing [4].

Cloud computing is used to work and complete specific projects. It's necessary to move data to the cloud before using cloud systems. However, after moving the data to the cloud, it can be processed into useful material and send back. An example of cloud computing is a software as a service (SaaS) where software data is entered and this data is then remotely transformed via a software interface without the process being connected to your computer. For example, remote application programming. Today, this technology is widespread in the digital and business world.

It ensures better cooperation, transparency, efficiency and innovation of solutions. It also reduces communication barriers and allows access to a wider audience, including customers and suppliers. Cloud computing pushes higher computing power than cloud storage. Cloud computing services enable the immediate delivery of the computing infrastructure, databases, repositories, and applications needed to process and analyze data points generated by hundreds of on-demand IoT devices. And with the emergence of similar services like Amazon Web Services, Google Cloud Platform, Microsoft Azure and IBM Cloud, the growth of the Internet of Things is even more so.

Design conditions for wearable devices Wearable devices are miniature electronic devices worn on the body, often integrated or intended to replace existing accessories, such as watches. This market segment is in progress, which is made possible by IoT technology. The need for smaller and intuitive devices is therefore growing rapidly. Current trends include smart watches, smart glasses and surveillance devices for sports and fitness activities. In addition to the consumer market, the medical industry is also creating demand for devices that monitor physiological parameters and functions.

The most important electronic component of wearable devices is the microcontroller (MCU). Because these MCUs must be small and contain multiple functions at once, integration is another important factor [5, 7].

Requirements for wearable equipment. The design of the wearable device should fit into various fashion accessories, such as watches, glasses, jewelry and the like. Aesthetics are so important that top semiconductor companies like Intel are working with the fashion industry to increase demand for their manufacturing. Capacitive touch sensing is a key technology that also helps to improve aesthetics. The user interface must be functional for a variety of shapes, including curved surfaces, must be fluid resistant, and can be scanned even when overlapped. Thanks to Capress and TrueTouch technologies from Cypress, these requirements are met. New equipment must be as small as possible so that it can be worn comfortably. At the same time, however, they must integrate multiple functions into one space. Technologies such as System-on-Chip (SoC) and Chip Packages (CSP) can help reduce size.

Energy consumption. Wearable devices are battery-powered, so each power consumption poses a challenge for these devices. Unlike other mobile devices, these wearable devices must always be switched on and always connected, because of which they are monitoring devices. For example, a smart watch must always display the time and must be connected to a mobile phone via a wireless connection, such as Bluetooth, in order to receive notifications, as in the case of pedometers and heart rate monitoring. Battery capacity is necessarily limited due to the need to reduce all dimensions. Therefore, these devices must operate with very low power consumption for the battery to last as long as possible [5, 6].

Wireless communication. A wireless connection is important for wearable devices because they must communicate with one or more devices. Depending on the type and features offered, the device must provide different wireless protocols, such as Wi-Fi, ANT +, Bluetooth Low Energy (BLE), and an IEEE 802.15.4-based protocol.

The choice of main processor depends on the type and characteristics of the device. Advanced information and entertainment devices that include an application processor are equipped with an MCU processor, which is processed in a carrier-type manner. The latest microcontrollers integrate function control into a single chip. This is important in reducing the total amount of carrying equipment and the cost per piece.

Wearable device components. Depending on the type of main processor used, multiple peripheral functions can be integrated into a single processor chip. For example, most PSoC devices integrate capacitive sensing functions, which eliminates the use of a separate touch controller and similar display functions. An important subsystem of the wearable device is the sensor data acquisition subsystem. Depending on the type of device, this could be a simple system with only a

few MEMS sensors or complex with a dedicated sensor hub for connection to the sensors. MEMS sensors play a key role in fitness and wellness areas and monitor the movement of the human body in all dimensions. These sensors are also called motion sensors. Actually, all these sensors provide motion information in digital mode via the I2C / SPI communication interface [7, 8].

Design of an innovative solution. The aim of this innovative solution is to design a device that will be able to identify students, school staff and monitor physiological functions. The measured parameter will be body temperature. The overall concept of the device consists of two parts. The first part is the identification module, whose task is to register people in the cloud system with the current time of arrival. This module is closely connected with the main point of the solution, which is the design of the wearable device. The system structure is shown on Fig. 2.

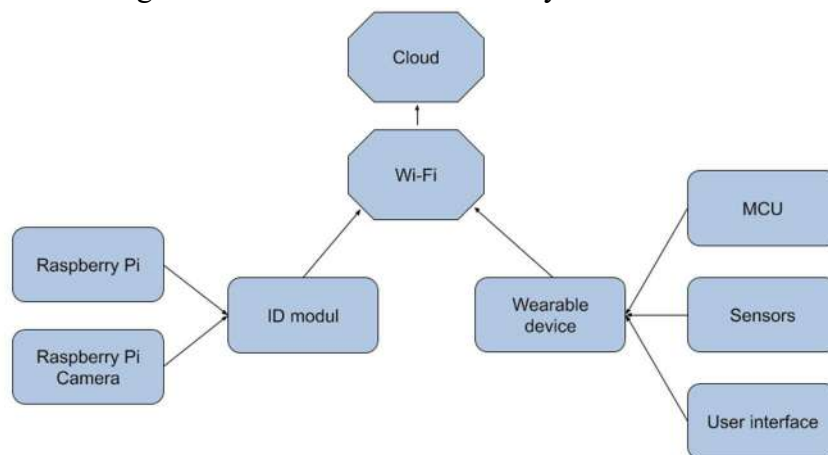


Fig. 2. System structure

Design of wearable device. To make the device as comfortable to wear as possible and to meet the aesthetic trends of today, it will be designed as a bracelet. Thus, it will also suit sensor applications that need the best possible contact with the human body. The main functions of the wearable device are a measurement of body temperature, pulse, QR code display function, Wi-Fi connection, power saving mode capability and sending of measured data to the cloud.[7]

Microcontroller selection. There are many different development boards and microcontrollers available from different companies: TI, Samsung, Arduino, Raspberry Pi and more. The choice of the most suitable depends on several factors, which vary depending on the nature of the application: Compatibility, Architecture, Memory, Availability, Price.

The overall set of components of the wearable device consists of a microcontroller that controls the processes of the device, the sensor that measures body temperature and pulse with high accuracy. In order to communicate with the device, it must be equipped with a display. The whole device is powered by a battery that offers 3.7 V.

The MAX30205 temperature sensor is selected to measure the temperature of the human body. The digital temperature sensor has an accuracy of 0.1°C in the measuring range of 37°C to 39°C. This device converts temperature measurements to digital form using a high-resolution analog-to-digital converter (ADC). The accuracy meets the ASTM E1112 clinical thermometric specification. Communication takes place via the I2C serial interface. The sensor has a supply voltage range of 2.7 V to 3.3 V and a low supply current of 600 µA. It is available in compact dimensions of 3x3 mm. These sensors are suitable for wearable fitness and medical applications [8].

In general, wearable devices such as smartwatches, bracelets offer almost the same basic functions. The best known include monitoring physiological functions, counting steps, calculating calories burned, monitoring sleep activity and compatibility with a mobile device that is used to visualize the measured data. Most of the special functions are not needed for this solution. The basis is the identification and measurement function of physiological parameters. In the future, the device may be equipped with innovative features that will add more application value to the device. The components of the system are shown on Fig. 3.



Fig. 3. Components of proposed system

Identification module. By combining a camera from Raspberry Pi and the control unit itself, we get a fully functional identification module. The camera will be used to scan the QR code of wearable devices. Subsequent recognition and identification is the responsibility of the microcontroller. This process requires the fast computing features that the Raspberry Pi offers with its computing power. It also includes a Wi-Fi wireless module, so sending data to the cloud is no problem.

The process of identification and measurement of physiological functions. On the entrance of the school facility, there is a gate that contains an identification module. Log in the system is done by scanning the QR code, which is unique for each student and employee. The wearable device contains a login function, the activation of which triggers two functions. The first function is to display the QR code on the display of the wearable device, which is scanned by the camera module. At the same time, the body temperature and pulse measurement function is run for 60 seconds to get the most accurate measurement values. After scanning the code, the control unit compares the Raspberry Pi identification module to see if the identification number is entered in the registry and if yes, the unit turns on Wi-Fi and then writes it along with the current time to the cloud. After 60 seconds, the resulting value of the measured body temperature and the averaged value of the measured pulse are written to the output. The control unit of the ESP32 wearable device switches on the Wi-Fi mode and sends the measured values to a common cloud. In the cloud, the assignment function of the identification numbers takes place together with the devices and their measured values. After the assignment, a final check of the measured values occurs, which verifies that an individual has a temperature above 38°C. In this case, the cloud function initiates an alarm mode and notifies the competent persons of the current higher temperature of the student.

The measurement cycle has repeated in total for ten times during the day, every half hour. This is to obtain the most accurate data and to detect fever, infection, and the like as soon as possible. To save battery life as much as possible, the implementation of the device's sleep modes is necessary. After each measurement and sending data to the cloud, after 30 seconds, the device enters a power-saving mode that turns off Wi-Fi, measurement functions and completely dims the contrast on the display.

The flowchart briefly describes the process of identifying and monitoring physiological functions. After experimental measurements and tests, it would be necessary to optimize the process and look for possible system errors. In addition, the power regulations should be re-evaluated to save the battery as much as possible. It was not analyzed the process in the cloud in detail, but its functions are showed in Fig. 4.

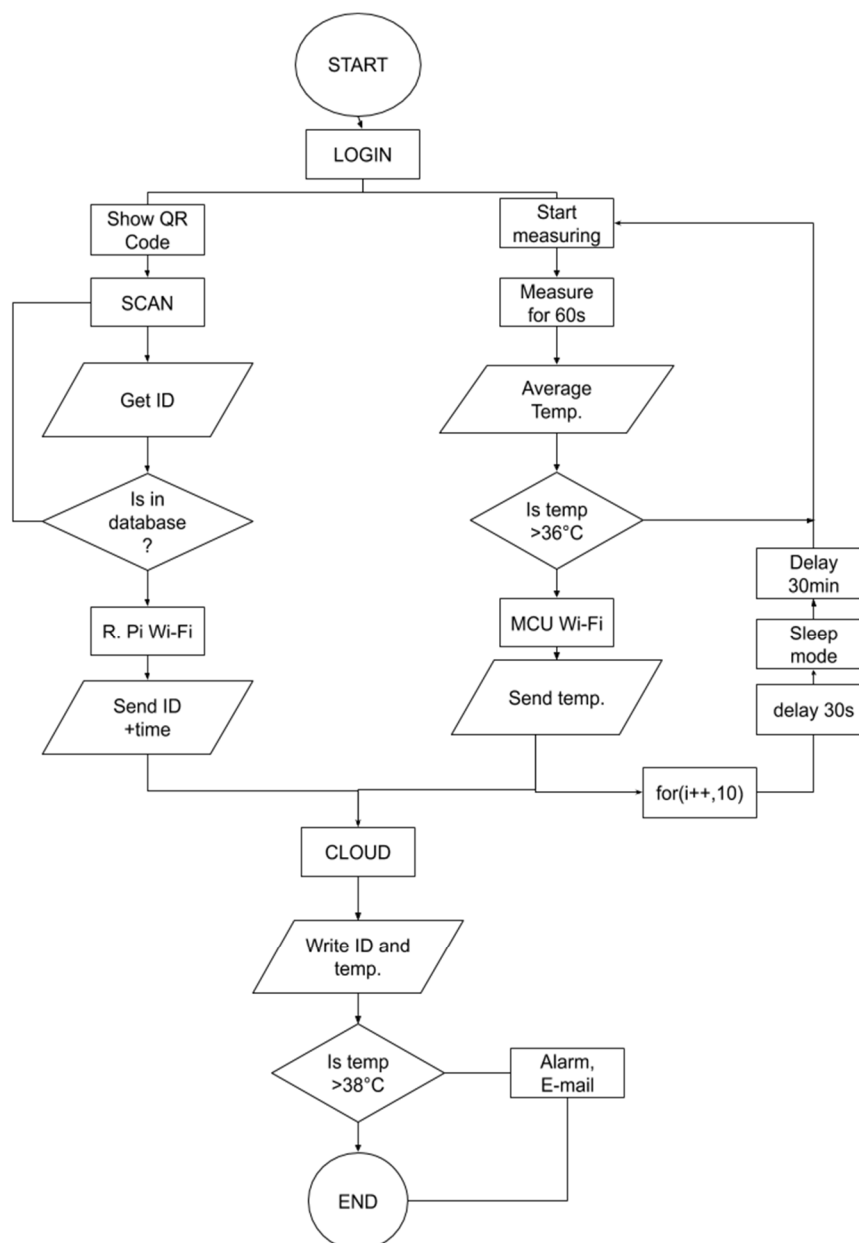


Fig. 4. Functional principle of the proposed system

Conclusion. This paper describes the concept of physiological condition monitoring system. The modern monitoring systems are implementing sensing, communication, and visualization operations without interrupting the normal life of people. The proposed monitoring system finds application in the monitoring of the health of the user. The integrated sensors can be used to monitor the temperature and other parameters and if it is necessary, it can warn the responsible staff to take action. The article aims to introduce the essential aspects of the system design and describes a functioning principle of the proposed device. Internet of Things, cloud technologies, hardware components and the design requirements were described. The most important design aspect was to find the cheapest solution for a university environment where the student and the staff can benefit from using such system.

As the proposed system solves a complex task, it was divided into two main units. In the first part of the system, the identification of the person is performed, while in the second part, various physiological indicators are monitored. These parts communicate in parallel via a Wi-

Fi connection with the master cloud. Data recording and processing is performed here. In the case of critical values, an alarm message is sent. The proposed system can be used as a basis for further development.

Acknowledgement. *This work has been supported by the Slovak Grant VEGA 1/0330/19 - Výskum a návrh algoritmov a systémov pre fúziu rôznorodých dát v multisenzorových architektúrach.*

References

1. GALAJDA, P., GALAJDOVÁ, A., SLOVÁK, S., PEČOVSKÝ, M., DRUTAROVSKÝ, M., SUKOP, M., SAMANEH, I.B.A.: Robot vision ultra-wideband wireless sensor in non-cooperative industrial environments, 2018. In: International Journal of Advanced Robotic Systems. Vol. 15, no. 4 (2018), p. 1–12. - ISSN 1729-8814 Spôsob prístupu: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881418795767>.
2. VAGAŠ, M. - GALAJDOVÁ, A. - ŠIMŠÍK, D. Nasadenie bezkontaktných ochranných zariadení do automatizovaných pracovišť, ARTEP 2020. Košice (Slovensko) : Technická univerzita v Košiciach pp. 1-6 . - ISBN 978-80-553-3487-5.
3. VAGAŠ, M. - ŠIMŠÍK, D. - GALAJDOVÁ, A. - ONOFREJOVÁ, D. Safety as necessary aspect of automated systems ICETA 2018 : Proceedings : 16th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications. - New Jersey (USA) : Institute of Electrical and Electronics Engineers s. 617-622 [print]. - ISBN 978-1-5386-7912-8.
4. AHMAD, Majeed. Cloud connectivity in IoT: How communication works [online]. 2020 [cit. 2020-05-21]. Available from: <https://www.microcontrollertips.com/cloud-connectivity-in-iot-part-1-how-communication-works-faq>.
5. BLOM, Jim. MLX90614 IR Thermometer [online]. 2018. Available from: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/mlx90614-ir-thermometer-hookup-guide/all>
6. C. A. Boano, M. Lasagni, K. Römer and T. Lange, "Accurate Temperature Measurements for Medical Research Using Body Sensor Networks," 2011 14th IEEE International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing Workshops, Newport Beach, CA, 2011, Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5753528>.
7. KITAGAWA, K. 7 rules for designing wearable devices [online]. 2014 Available from: <https://www.embedded-computing.com/embedded-computing-design/7-rules-for-designing-wearable-devices>.
8. MARCINKO, P.-SEMJON, J. -KOČAN, M.- Návrh meracieho reťazca pre meranie vibrácií ARTEP 2020. Košice (Slovensko) : Technická univerzita v Košiciach pp. 1-7 . - ISBN 978-80-553-3487-5.

УДК 612.86:62-55

Роберт Ракай, Олена Галайдова

КОНЦЕПЦІЯ МОНІТОРИНГУ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ НОСИМИХ СЕНСОРІВ

Актуальність теми дослідження. Сучасні тенденції автоматизації орієнтовані на впровадження нових технологій в повсякденне життя людей, незалежно від того, здорові вони чи ні. Нині моніторинг загального стану здоров'я став простішим завдяки розробці інтелектуальних переносних пристроїв.

Постановка проблеми. Переносні пристрої повинні бути безпечними, зручними, дуже легкими і мати ненав'язливий дизайн. Новітні технологічні рішення в області мікроконтролерів, сенсорів та зв'язку забезпечують значні переваги з точки зору бездротового моніторингу різних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При підготовці статті були проаналізовані різні загальнодоступні публікації, довідникові матеріали та експериментальні рішення. Результати інших експериментів також були використані для створення бази знань по цій темі дослідження.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Існує безліч технологій для вимірювання різних фізіологічних параметрів і зв'язку, які працюють онлайн і офлайн від різних виробників. Однієї статті недостатньо для їх опису та аналізу.

Постановка завдання. У цій статті були проаналізовані конструктивні особливості та концепції переносних систем моніторингу. Результати статті є основою для подальшої розробки інтегрованого складного переносного пристрою із системою ідентифікації.

Виклад основного матеріалу. Стан людини потрібно проводити моніторинг для того, щоб мати можливість передбачити майбутні інфекції або запобігти поширенню хвороби. Використання компактних рішень для моніторингу здоров'я, таких як датчики, мікроконтролери з вбудованими комунікаційними технологіями забезпечує гарну основу для вирішення таких завдань як моніторинг фізіологічного стану людини.

Висновки відповідно до статті. У запропонованій статті розглядаються особливості, які необхідно враховувати при проектуванні переносного пристрою. Запропонована система може надати корисну інформацію про здоров'я користувача, метою розробки було знайти найбільш дешеве рішення для університетського середовища.

Ключові слова: автоматизований моніторинг; сенсор; фізіологічні параметри.

Рис.: 4. Бібл.: 8.

Róbert Rákay – Assistant Professor, Ph.D. of technical sciences, Technical University of Kosice (Letná 9, 04200, Košice, Slovak Republic).

E-mail: robert.rakay@tuke.sk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7151-3749>

Scopus Author ID: 56922070700

Alena Galajdová – Head of the Department, professor, Ph.D. of technical sciences, Technical University of Kosice (Letná 9, 04200, Košice, Slovak Republic).

E-mail: alena.galajdova@tuke.sk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0128-4191>

Scopus Author ID: 6506796741

УДК 621.377

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-198-209

Дмитро Захарченко, Сергій Степенко

**ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
ДЛЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Актуальність теми дослідження. Дослідження накопичувачів електроенергії для роботи електроенергетичних об'єктів, характеристик та їх врахування при виборі типу накопичувача для об'єкта дозволить оптимізувати роботу системи загалом.

Постановка проблеми. Науково-технічний розвиток та екологічне становище висуває більш жорсткі вимоги до електроенергетичних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто класифікацію та основні характеристики наявних накопичувачів електроенергії, їхні основні переваги та недоліки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Основною проблемою застосування нових типів накопичувачів електроенергії є відсутність їх масового поширення на ринку електроенергетичних об'єктів.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методики визначення оптимального типу та моделі універсального накопичувача електроенергії і аналіз його переваг та недоліків.

Виклад основного матеріалу. Проведений аналіз існуючих типів накопичувачів електроенергії та їхніх характеристик. Запропонована методи, яка базується на порівнянні вартості одиниці ємності, об'ємної ємності, екологічного впливу та строку експлуатації. Проаналізовані основні відмінності кожного типу накопичувача електроенергії, їхні переваги та недоліки.

Висновки відповідно до статті. Запропонована методика базується на порівнянні вартості одиниці ємності, об'ємної ємності, екологічного впливу та строку експлуатації. Проаналізовані основні відмінності кожного типу накопичувача електроенергії, їхні переваги та недоліки. З використанням запропонованої методики зроблено оптимальний вибір накопичувача електроенергії для електроенергетичних об'єктів.

Ключові слова: накопичувач електроенергії; акумуляторна батарея; літій-іонний акумулятор; свинцево-кислотний акумулятор; нікель-кадмієвий акумулятор; вартість одиниці ємності.

Табл.: 7. Рис.: 2. Бібл.: 29.

Актуальність теми дослідження. З розвитком людство дедалі більше вдосконалює електроенергетичні об'єкти, роблячи їх більш безпечними, економічно вигідними та, що найголовніше, екологічно чистими. Накопичувачі електроенергії є незамінною частиною більшості електроенергетичних об'єктів і правильних їх підбір та встановлення є запорукою виконання всіх сучасних вимог.

Постановка проблеми. Технічний розвиток накопичувачів електроенергії збільшив інформаційний простір та комбінації їх параметрів. Найбільш поширеним накопичувачем електроенергії є акумуляторна батарея (АКБ). Вона встановлюється в системах сонячних електростанцій, вітрових електростанцій, електромобілів, безперебійного живлення тощо. Завдяки АКБ вдається стабілізувати вихідну напругу, отримувати екологічно чисту електроенергію в безвітряні години й години з малою сонячною активністю, рухатись електромобілю. Значний спектр видів і характеристик АКБ робить процес їх підбору до відповідного електроенергетичного об'єкту відповідальним завданням. На рис. 1 зображено електроенергетичну систему із використанням сонячної енергії та процесу перетворення її в електричну з АКБ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками процесам аналізу, оптимального підбору, обслуговування, експлуатації та вдосконаленню [27-29] присвячена велика кількість як українських, так і зарубіжних публікацій. Аналіз проводиться здебільшого теоретично, інколи експериментально. Кожна наступна публікація будується на сталому досвіді попередніх наукових досліджень та їх результатів. Науково-технічний прогрес у даній галузі є доволі значним, а вимоги різноманітних електроенергетичних комплексів та екологічні стандарти дедалі зростають. Відповідно до зазначеного є необхідність побудови нового дослідження на дослідній базі попередників. У роботі [27] проводиться огляд та обґрунтування АКБ для об'єкта. Ця робота опублікована у 2017 р. і на сьогодні втратила частину актуальності через розвиток технологій, цін та поширення тих чи інших АКБ на світовому ринку. Але ця робота є найбільш змістовною та обґрунтованою, правильно сформульованою для основи нашої роботи.

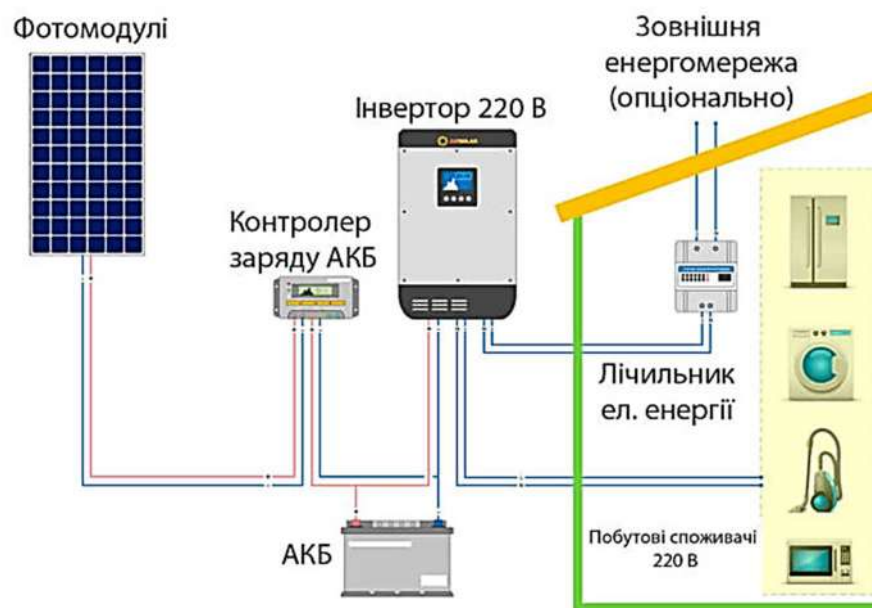


Рис. 1. Електроенергетична система

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Науково-технічний прогрес у створенні нових типів та вдосконаленні існуючих АКБ здійснює істотний вплив на електроенергетичні об'єкти загалом. Існування все давно розроблених та доведених до логічного кінця вдосконалення моделі існують та є конкурентоспроможними завдяки їх поширенню та низькій собівартості, або завдяки їх вузькоспеціалізованим особливостям. Здебільшого морально старі типи АКБ мають винятково низьку вартість на сучасному ринку накопичувачів електроенергії. Тому більш нові, сучасні та екологічні моделі та типи АКБ не є конкурентоспроможними. Їх глибоко досліджувати на сьогоднішній день немає сенсу по причині низької впровадженості та гранично низького поширення. Але за такими типами ефективно і екологічне майбутнє.

Постановка завдання. Метою роботи є огляд існуючих типів накопичувачів електроенергії, їх характеристик та основних параметрів. Для існуючих та найбільш поширених електроенергетичних об'єктів розробити методіку вибору найбільш оптимального типу накопичувача електроенергії.

Виклад основного матеріалу.

АКБ відрізняються такими основними параметрами:

1. Ємність акумулятора.
2. Зовнішні розміри.
3. Термін експлуатації.
4. Кількість циклів перезарядки.
5. Діапазон робочих температур.
6. Параметри саморозряду.
7. Присутність прискореної зарядки.
8. Напруга однієї секції.
9. Екологічні властивості.

Сучасні АКБ виконуються як один або декілька об'єднаних у спільному корпусі елементів. У залежності від типу, електроліт може бути у вигляді рідини або гелю. З огляду на тип електроліту необхідно застосовувати різні режими обслуговування, зарядки та встановлення акумулятору.

До найбільш поширених АКБ належать такі типи:

1. Свинцево-кислотні.
2. Нікель-метал-гідридні.
3. Нікель-кадмієві.
4. Літій-іонні.
5. Літій-залізо-фосфатні.
6. Літій-полімерні.

У залежності від типу АКБ відрізняється їх вартість, ємність, температурний режим роботи, розміри, кількість циклів перезарядки тощо. АКБ виконуються як один елемент або кілька елементів, підключених паралельно чи послідовно. Деякі види АКБ мають елементи управління для забезпечення контролю режиму заряду/ розряду і забезпечення захисту при експлуатації.

Свинцево-кислотні АКБ (Lead-Acid batteries). Цей тип АКБ є найбільш поширеним на ринку накопичувачів електроенергії. У залежності від типу електроліту свинцево-кислотні АКБ можна поділити на: 1) з рідким електролітом; 2) з гелевим електролітом (типи AGM та GEL). Принцип роботи АКБ даного типу заснований на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю у розчині сірчаної кислоти. Свинцево-кислотні АКБ типу GEL та AGM завдяки відсутності рідкого електроліту у своєму складі є більш зручними у використанні та надійними [7]. У табл. 1 наведено порівняння деяких параметрів свинцево-кислотних АКБ.

Таблиця 1

Порівняння свинцево-кислотних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс ро- боти, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
Bosch 6СТ-70 S4 026 0092S40260 [1]	70	12	15300	260×175×225 17	2205
Topla 6СТ-70 TOP Japan R [2]	70	12	14960	260×175×225 17	2654
Volter GE (GEL) [3]	60	12	19110	347×167×168 17,3	5970
LogicPower LPM-GL (GEL) [4]	65	12	13900	350×165×185 23,9	4799
VENTURA GPL 1270 (AGM) [5]	70	12	12550	260×169×229 22,8	4771
Merlion MLB-12-65 (AGM) [6]	65	12	11820	350×167×179 20,5	3805

Перевагами свинцево-кислотних АКБ є:

1. Низький саморозряд.
2. Висока кількість циклів заряду/розряду.
3. Низька вартість та висока поширеність.
4. Відсутність «ефекту пам'яті».

Недоліками свинцево-кислотних АКБ є:

1. Низька питома ємність.
2. Глибокий розряд призводить до скорочення числа циклів заряду/розряду.
3. Токсичні речовини у складні АКБ.
4. Необхідність дотримання вимог до встановлення та перевезення АКБ з рідким типом електроліту.

На відміну від типу GEL, тип AGM має у своєму складі вставки з абсорбуючої склотканини, які зв'язують електроліт. АКБ даного типу мають більш високу струми при заряді/розряді, меншу вартість і нижчі вимоги до напруги у процесі заряду.

Виходячи з даних, наведених у табл. 1 видно, що окрім що АКБ типу (AGM) мають меншу вартість у порівнянні з АКБ типу (GEL) та менший ресурс роботи. Класичні АКБ із рідким електролітом мають значно нижчу вартість при відсутності відмінностей у інших параметрах. Така залежність спостерігається і на практиці. Домінуючими є АКБ з рідким електролітом.

Для використання АКБ у електроенергетичних об'єктах необхідним є встановлення контролера. Свинцево-кислотні АКБ не мають у своєму складі контролеру, отже, необхідно застосовувати зовнішні контролери заряду. За типом розділяють контролери заряду на: 1) широтно-імпульсної модуляції (ШІМ); 2) із відстеженням точки максимальної потужності (Maximum Power Point Tracking, MPPT).

Контролери типу ШІМ мають меншу вартість і меншу ефективність у порівнянні і MPPT. Тому з метою зменшення вартості цього типу контролерів, запропонований план відмови від використання у їхньому складі мікропроцесорів, ПЛІС та аналогово-цифрових перетворювачів, шляхом заміщення їхніх функцій аналоговими вузлами [26].

Як показує ситуація на ринку накопичувачів електроенергії, свинцево-кислотні АКБ мають найбільше поширення та сферу застосування. Вони відрізняються доступністю, розповсюдженістю та невисокою вартістю.

Нікель-кадмієві АКБ (NiCd batteries). Нікель-кадмієві АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно в початку 50-х рр. ХХ ст. Найбільшого застосування отримали у портативному обладнанні при поширенні до 50 %. Цей тип АКБ працює завдяки електрохімічній реакції гідроксиду нікелю, води та кадмію.

Перевагами нікель-кадмієвих АКБ є:

1. Низька вартість.
2. Значна кількість циклів заряду/розряду.
3. Висока стійкість до температурних змін.
4. Малий внутрішній опір.
5. Висока швидкість зарядки.
6. Відсутність негативних наслідків «глибокого» розряду.
7. Можливість використовувати та перевозити АКБ без спеціальних вимог.

Недоліками нікель-кадмієвих АКБ є:

1. Низька екологічність (кадмій відноситься до високотоксичних елементів).
2. Низька питома ємність.
3. Наявність «ефекту пам'яті».
4. Високий саморозряд.

Даний тип АКБ серед усіх інших одиниць, що має найкращу віддачу максимальної ємності, має значку кількість циклів заряду/розряду при періодичному вмісному глибокому розряді. Один елемент має напругу 1.2 В, що нижче ніж у свинцево-кислотних - 2 В. У табл. 2 наведено порівняння параметрів нікель-кадмієвих АКБ.

Таблиця 2

Порівняння нікель-кадмієвих АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
Panasonic (P301) [8]	0,6	3,6	1000	53×29×11 0,3	163
Camelion (T-107) [9]	0,6	3,6	940	49×23×20 0,25	107
Енергія E110 [10]	0,6	3,6	1130	65×41×18 17,3	78

Як контролер заряду для нікель-кадмієвих АКБ запропоновано використання алгоритму з нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [24]. У результаті очікується підвищення кількості циклів заряду/розряду до 3000 та ККД накопичувача електроенергії.

Нікель-метал-гідридні АКБ (NiMH battery). Нікель-метал-гідридні АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно в початку 80-х рр. ХХ ст. У порівнянні з нікель-кадмієвими АКБ мають більшу щільність енергії. Катод даних АКБ виконаний з гідриду металу. У табл. 3 наведено порівняння параметрів нікель-метал-гідридних АКБ.

Перевагами нікель-метал-гідридних АКБ є:

1. Більша питома ємність (до 30 %).
2. Менша вага.
3. Менша схильність до «ефекту пам'яті».
4. Більша екологічна безпечність.

Недоліками нікель-метал-гідридних АКБ є:

1. Менша кількість циклів заряду/розряду.
2. Вища вартість.
3. Менший, у порівнянні з NiCd, температурний діапазон.
4. Менша сила струму.
5. Недопустимість глибоких розрядів.
6. Високий саморозряд.

Таблиця 3

Порівняння нікель-метал-гідридних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
VB-Power NI-MH [21]	4	7,2	710	130×15×15 0,4	1163
Dinogy NiMH [22]	1,6	7,2	600+	17×32×100 0,72	400
Traxxas NiMH [23]	3	8,4	590	111×42×19 0,83	1044

Літій-іонні АКБ (Li-ion batteries). Літій-іонні АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно в початку 90-х рр. ХХ ст. Найбільшим виробником АКБ даного типу є компанія Sony. Конструкція сучасних літій-іонних АКБ передбачає використання контролерів, або так званих «smart-мікросхем». Вони дають можливість керувати зарядним пристроєм для безпечного й ефективного процесу зарядки/розрядки. Для літій-іонних АКБ також було запропоновано використання контролеру заряду/розряду з використанням технології нечіткої логіки [24]. За результатами моделювання та експериментів, так систему дозволяє зменшити час зарядки АКБ на 20-23 %. У табл. 4 наведено порівняння параметрів літій-іонних АКБ.

Перевагами літій-іонних АКБ є:

1. Висока питома ємність.
2. Мала вага та габаритні розміри.
3. Низький саморозряд.
4. Велика кількість циклів заряду/розряду.

Недоліками літій-іонних АКБ є:

1. Висока вартість.
2. Малий діапазон робочих температур.
3. Спалахо-, вибухонебезпечність.

Таблиця 4

Порівняння літій-іонних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
BMS Eco Battery [11]	832	24	3000+	1200×600×640 260	143013
LP LTO [12]	80	48	2700+	360×420×170 102	90763
Soluna 4K PACK [13]	80	48	3200	436×630×200 56	69741
WEEKENDER LI-ION [14]	100	12	2470	220×81×231 6.25	10200

Літій-залізо-фосфатні АКБ (LiFePO₄ batteries). Літій-залізо-фосфатні АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно на початку ХХІ ст. Як катод у цьому типі АКБ використовується літій-залізо-фосфат. У табл. 5 наведено порівняння деяких параметрів літій-залізо-фосфатних АКБ.

Перевагами літій-залізо-фосфатних АКБ є:

1. Більший ресурс роботи.
2. Стабільна напруга розряду.
3. Напруга однієї комірки 3.2 В.
4. Більш екологічні.
5. Більший піковий струм.
6. Хімічна і термічна стабільність.
7. Стійкість до низьких температур (до -30⁰С).

Недоліками літій-залізо-фосфатних АКБ є:

1. Наявність «ефекту пам'яті».
2. Висока вартість.
3. Необхідність точно дотримуватись умов заряду/розряду.

Таблиця 5

Порівняння літій-залізо-фосфатних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO [15]	50	12	3700+	257×200×132 7,5	9999
EVEREXCEED EP48100 [16]	100	48	4000+	483×177×450 43	63169
CHALLENGER 12-100 [17]	100	12	2900	450×220×170 12,8	13508

Літій-полімерні АКБ (Li-pol). Даний тип АКБ є удосконаленим Li-іон АКБ. Як електроліт використовується твердий полімер. Знайшли найбільшого поширення у дрібній електроніці (мобільні телефони, цифрова техніка), портативному електроінструменті та електромобілях. У табл. 6 наведено порівняння деяких параметрів літій-полімерних АКБ.

Перевагами літій-полімерних АКБ є:

1. Низький саморозряд.
2. Велика щільність енергії.
3. Можливість мати товщину від 1 мм.
4. Можливість мати гнучку форму.

Недоліками літій-полімерних АКБ є:

1. Невеликий струм розряду.
2. Невелика стійкість до температур нижче за -20 °С.

Таблиця 6

Порівняння літій-полімерних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
Dinogy Li-Pol [18]	11	22,2	4300	196×73×50 3,1	6500
34109125 DBK [19]	6	3,7	2300+	100×120×3 0,05	399
663480SP Shida [20]	1,5	3,7	-	80×33×6,2 0,03	402

Порівняння досліджених типів АКБ. Для вибору оптимального економічного рішення необхідним є визначення вартості одиниці ємності АКБ кожного з типів, вираженою у Вт·годинах. Для цього необхідно скористатись формулою (1):

$$Z = \frac{X}{C \cdot U}, \quad (1)$$

де X – вартість АКБ, грн;

C – ємність АКБ, А·год;

Z – вартість одиниці ємності АКБ, грн/(Вт · год);

U – напруга, В.

Для кожного типу АКБ необхідно обрати варіант, який має найменшу вартість одиниці ємності. Результати розрахунку та порівнянь обраних варіантів АКБ занесені до табл. 7.

Таблиця 7

Результати розрахунку

№	Назва АКБ	Тип АКБ	Z, грн/(Вт·год)	X, грн	C, А·год	U, В
1	Bosch 6CT-70 S4 026 0092S40260	Pb/SLA	2,63	2205	70	12
2	LogicPower LPM-GL	GEL	6,07	4799	65	12
3	Merlion MLB-12-65	AGM	4,88	3805	65	12
4	Енергія E110	NiCd	36,11	78	0.6	3,6
5	Dinogy	NiMH	34,72	400	1.6	7,2
6	BMS Eco Battery	Li-ion	7,16	143013	832	24
7	CHALLENGER 12-100	LiFePO4	11,26	13508	100	12
8	34109125 DBK	Li-pol	17,97	399	6	3,7

З огляду на наведені в табл. 7 результати розрахунку можна дійти висновку, що найдешевшим є свинцево-кислотний тип АКБ з рідким електролітом. Його вартість на 46 % менша за найближчого до порівняння типу АКБ, а саме свинцево-кислотного з GEL електролітом. Такі цінові результати на сьогоднішній день можливі завдяки поширеності та простоті виготовлення. Також результати розрахунку наведені на гістограмі на рис. 2.

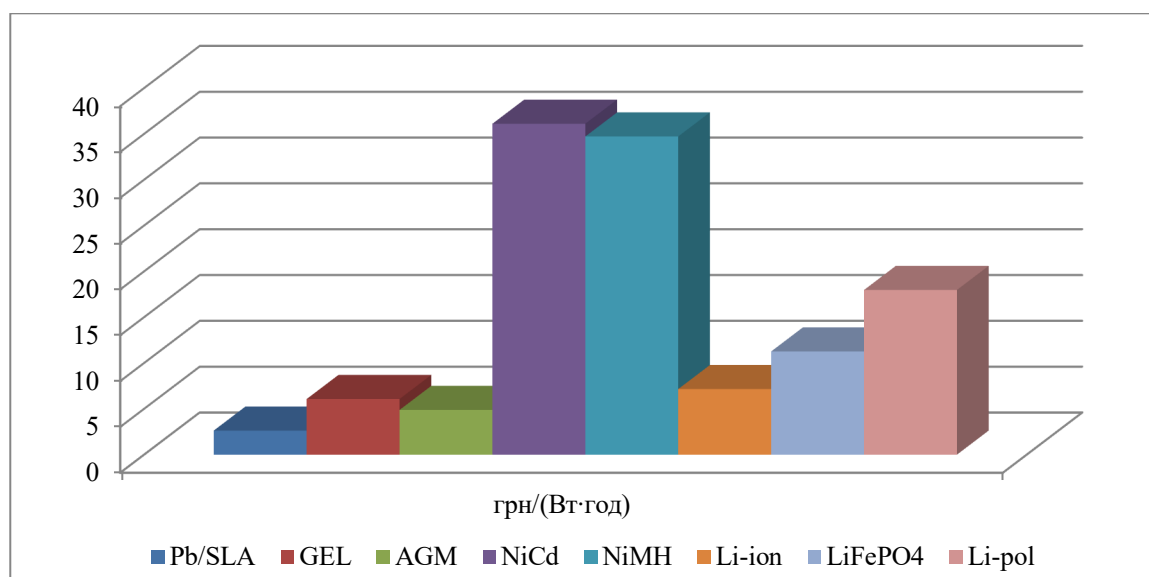


Рис. 2. Результати розрахунку

Якщо звернути увагу на відношення зовнішніх габаритних розмірів АКБ та їх маси до ємності, вираженої у Вт·год, то на сьогоднішній день у даному параметрі спостерігається приблизна рівність завдяки розвитку технологій виробництва усіх типів АКБ на основі Літію.

Важливим параметром АКБ також є його ресурс. Згідно з описом та розглядом кожного з типів АКБ усі типи можуть забезпечити досить значний термін використання. Цей термін знаходиться в межах 10-15 років. Найбільшого терміну використання можна отримати від NiCd АКБ. Свинцеві АКБ тримають цей параметр на рівні 12 років. Для отримання повного терміну використання АКБ і відсутності його зниження критично важливо витримувати усі умови експлуатації АКБ, такі як температурний режим, глибина розряду/заряду, струм заряду, умови зберігання, транспортування, обслуговування тощо. Кожен тип АКБ має свої специфічні умови й вибір оптимального типу також повинен залежати від можливості повною мірою витримувати ці вимоги експлуатації.

Висновки відповідно до статті. Перший АКБ з'явився приблизно 140 років тому і впевнено заволодів усіма аспектами людського життя. Зараз дуже складно уявити світ без накопичувачів електричної енергії. АКБ застосовуються скрізь, від найменшого до найбільшого: ліхтарі, мобільні телефони, планшети, ноутбуки, пульти дистанційного керування, резервні джерела живлення, новітні екологічні електростанції, екологічно чисті типи транспорту, космічна галузь тощо. З кожним роком людина споживає дедалі більше електричної енергії і дедалі більший її відсоток споживається саме з накопичувачів електроенергії. Тому процеси виробництва АКБ, їх експлуатації та утилізації повинні з кожним роком покращуватись, а розвиток новітніх типів АКБ не стояти на місці.

Якщо брати до уваги не тільки вартість одиниці ємності АКБ, а і баланс переваг/недоліків кожного з типів АКБ і умови їх використання, то найбільш оптимальним і перспективним у майбутньому є Li-ion тип АКБ і умови їх використання. Даний тип АКБ має можливість використовувати його протягом 10-15 років, має збалансовану вартість одиниці ємності, вираженої у Вт·год, велику напругу однієї комірки, високу об'ємність у відношення до об'єму АКБ та його маси, низький саморозряд та широкі умови експлуатації. З кожним роком поширення АКБ даного типу зростає, вартість знижується, параметри та характеристики вдосконалюються. У перспективі оптимальність даного вибору буде зростати. Перспективними є розробки літєвих АКБ інших типів, але на сьогодні їхнім головним недоліком є висока вартість та мала поширеність.

Поточні дослідження виконуються в межах держбюджетної науково-дослідної роботи молодих вчених № 0120U101554 «Автономні електроенергетичні системи з високою ефективністю, покращеними масогабаритними характеристиками та підвищеною надійністю для спеціальних застосувань».

Список використаних джерел

1. Аккумуляторная батарея Bosch 6СТ-70 S4 026 0092S40260. URL: <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/bosch-6st-70-s4026-silver-570412063>.
2. Аккумуляторная батарея Topla 6СТ-70 TOP Japan R. URL: <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/topla-6st-70-top-japan>.
3. Аккумуляторная батарея Volter GE. URL: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-volter-ge-12v-60ah/>.
4. Аккумуляторная батарея LogicPower LPM-GL. URL: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-logicpower-lpm-gl-12v-65ah/>.
5. Аккумуляторная батарея VENTURA GPL 1270. URL: http://www.ecosvit.net/index.php?action=market_product&id=2601&lang=ua.
6. Аккумуляторная батарея Merlion MLB-12-65. URL: <http://www.ecosvit.net/ua/akumulyator-merlion-mlb-12-agm-12v-65ah>.
7. Хрусталеv Д. А. Аккумуляторы. Москва : Изумруд, 2003. 244 с.
8. Аккумуляторная батарея Panasonic (P301). URL: <https://nash-mag.com.ua/p217797638-akkumulyator-panasonic-r301.html>.
9. Аккумуляторная батарея Camelion (T-107). URL: <https://nash-mag.com.ua/p217743024-akkumulyator-camelion-107.html>.
10. Аккумуляторная батарея Енергія E110. URL: <https://nash-mag.com.ua/p238772339-akkumulyator-energiya-e110.html>.
11. Аккумуляторная батарея BMS Eco Battery. URL: <https://rozetka.com.ua/151427620/p151427620/>.
12. Аккумуляторная батарея LP LTO. URL: <https://rozetka.com.ua/262702201/p262702201/>.
13. Аккумуляторная батарея Soluna 4K PACK. URL: <https://rozetka.com.ua/239228977/p239228977/>.
14. Аккумуляторная батарея WEEKENDER LI-ION. URL: <https://energo-partner.com.ua/p1208483214-litievuj-akkumulyator-100>.
15. Аккумуляторная батарея LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO. URL: <https://energo-partner.com.ua/p998093962-akkumulyator-litievuj-luxeon.html>.
16. Аккумуляторная батарея EVEREXCEED EP48100. URL: <https://energo-partner.com.ua/p1305264587-akkumulyator-litievuj-100ah.html>.
17. Аккумуляторная батарея CHALLENGER 12-100. URL: <https://energo-partner.com.ua/p1201872002-akkumulyator-litievuj-100.html>.
18. Аккумуляторная батарея Dinogy Li-Pol. URL: https://rozetka.com.ua/dinogy_dlc_6s11000ca_xt/p38403680/characteristics/.
19. Аккумуляторная батарея 34109125 DBK. URL: https://batareyki.com.ua/catalog/litij_polimernye_li_pol/34109125_dbk_6000mah_3_1x109x125_99_1g/.
20. Аккумуляторная батарея 663480SP Shida. URL: https://batareyki.com.ua/catalog/litij_polimernye_li_pol/663480sp_shida_1500mah_20c_6_2_33_0_80_3_34_2g/.
21. Аккумуляторная батарея VB-Power NI-MH. URL: <https://modelistam.com.ua/power-battery-4000mah-tamiya-plug-hard-case-p-20576/>.
22. Аккумуляторная батарея Dinogy NiMH. URL: <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-dinogy-nimh-1600mah-23a-mini-tamiya-p-31726/>.
23. Аккумуляторная батарея Traхxas NiMH. URL: <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-traхxas-nimh-3000-mach-p-29179/>.

24. Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen, Kuo-Shun Huang. Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-chargecontroller. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2001. № 48. Pp. 585–593.

25. Ionescu P. D., Moscalu M., Moscalu A. Intelligent charger with fuzzy logic. *Signals, Circuits and Systems, 2003. SCS 2003. International Symposium*. 2003. № 1. Pp. 101–104.

26. Sugimoto Y. The Solar Cells and the Battery Charger System Using the Fast and Precise Analog Maximum Power Point Tracking Circuits. *IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI* (08-10 Jul. 2015, Montpellier), 2015. Pp. 597–602.

27. Фесенко А. П., Ершов Р. Д., Степенко С. А. Огляд та обґрунтування вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. *Технічні науки та технології*. 2017. № 1(7). С. 177-186.

28. Шмелев Ю. Н., Бойко С. Н., Городний А. Н., Чернихова Е. С., Владов С. И. Електротехнічний комплекс контролю стану авіаційних акумуляторних батарей. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4(10). С. 123-132.

29. Jan Semjon, Ján Grexa, Peter Mačo. Проектування док-станції для мобільної робототизованої платформи типу agv. *Технічні науки та технології*. 2018. № 4(14). С. 210-215.

References

1. Akkumuliatornaia batareia Bosch 6CT-70 S4 026 0092S40260 [Storage battery Bosch 6CT-70 S4 026 0092S40260]. <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/bosch-6st-70-s4026-silver-570412063>.

2. Akkumuliatornaia batareia Topla 6CT-70 TOP Japan R [Storage battery Topla 6CT-70 TOP Japan R]. <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/topla-6ct-70-top-japan>.

3. Akkumuliatornaia batareia Volter GE [Storage battery Volter GE]. <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-volter-ge-12v-60ah/>.

4. Akkumuliatornaia batareia LogicPower LPM-GL [Storage battery LogicPower LPM-GL]. <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-logicpower-lpm-gl-12v-65ah/>.

5. Akkumuliatornaia batareia VENTURA GPL 1270 [Storage battery VENTURA GPL 1270]. http://www.ecosvit.net/index.php?action=market_product&id=2601&lang=ua.

6. Akkumuliatornaia batareia Merlion MLB-12-65 [Storage battery Merlion MLB-12-65]. <http://www.ecosvit.net/ua/akumulyator-merlion-mlb-12-agm-12v-65ah>.

7. Khrustalev, D. A. (2003). *Akkumulyatory [Storage batteries]*. Izumrud.

8. Akkumuliatornaia batareia Panasonic (P301) [Storage battery Panasonic (P301)]. <https://nashmag.com.ua/p217797638-akkumulyator-panasonik-r301.html>.

9. Akkumuliatornaia batareia Camelion (T-107) [Storage battery Camelion (T-107)]. <https://nashmag.com.ua/p217743024-akkumulyator-camelion-107.html>

10. Akkumuliatornaia batareia Енергія E110 [Storage battery Енергія E110]. <https://nashmag.com.ua/p238772339-akkumulyator-energiya-e110.html>.

11. Akkumuliatornaia batareia BMS Eco Battery [Storage battery BMS Eco Battery]. <https://rozetka.com.ua/151427620/p151427620/>.

12. Akkumuliatornaia batareia LP LTO [Storage battery LP LTO]. <https://rozetka.com.ua/262702201/p262702201/>.

13. Akkumuliatornaia batareia Soluna 4K PACK [Storage battery 4K PACK]. <https://rozetka.com.ua/239228977/p239228977/>.

14. Akkumuliatornaia batareia WEEKENDER LI-ION [Storage battery WEEKENDER LI-ION]. <https://energo-partner.com.ua/p1208483214-litievijj-akkumulyator-100>.

15. Akkumuliatornaia batareia LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO [Storage battery LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO]. <https://energo-partner.com.ua/p998093962-akkumulyator-litievijj-luxeon.html>.

16. Akkumuliatornaia batareia EVEREXCEED EP48100 [Storage battery EVEREXCEED EP48100]. <https://energo-partner.com.ua/p1305264587-akkumulyator-litievijj-100ah.html>.

17. Akkumuliatornaia batareia CHALLENGER 12-100 [Storage battery CHALLENGER 12-100]. <https://energo-partner.com.ua/p1201872002-akkumulyator-litievijj-100.html>.

18. Akkumuliatornaia batareia Dinogy Li-Pol [Storage battery Dinogy Li-Pol]. https://rozetka.com.ua/dinogy_dlc_6s11000ca_xt/p38403680/characteristics/.
19. Akkumuliatornaia batareia 34109125 DBK [Storage battery 34109125 DBK]. https://batareyki.com.ua/catalog/litiiy_polimernye_li_pol/34109125_dbk_6000mah_3_1x109x125_99_1g/.
20. Akkumuliatornaia batareia 663480SP Shida [Storage battery 663480SP Shida]. https://batareyki.com.ua/catalog/litiiy_polimernye_li_pol/663480sp_shida_1500mah_20c_6_2_33_0_8_0_3_34_2g/.
21. Akkumuliatornaia batareia VB-Power NI-MH [Storage battery VB-Power NI-MH]. <https://modelistam.com.ua/power-battery-4000mah-tamiya-plug-hard-case-p-20576/>.
22. Akkumuliatornaia batareia Dinogy NiMH [Storage battery Dinogy NiMH]. <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-dinogy-nimh-1600mah-23a-mini-tamiya-p-31726/>.
23. Akkumuliatornaia batareia Traxxas NiMH [Storage battery Traxxas NiMH]. <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-traxxas-nimh-3000-mach-p-29179/>.
24. Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen, Kuo-Shun Huang. (2001). Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-chargecontroller. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (48), pp. 585–593.
25. Ionescu, P. D., Moscalu, M., Moscalu, A. (2003). Intelligent charger with fuzzy logic. *Signals, Circuits and Systems, 2003. SCS 2003. International Symposium*, (1), pp. 101–104.
26. Sugimoto, Y. (2015). The Solar Cells and the Battery Charger System Using the Fast and Precise Analog Maximum Power Point Tracking Circuits. *IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI* (pp. 597–602).
27. Fesenko, A. P., Ershov, R. D., Stepenko, S. A. (2017). Ohliad ta obgruntuvannia vyboru akumuliatornykh batarei dlia avtonomnoi systemy elektrozhyvlennia na osnovi fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv [Review and justification of the choice of batteries for autonomous power supply system based on photovoltaic converters]. *Technical sciences and technologies – Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 1(7), pp. 177-186.
28. Shmelev, Y. N., Boyko, S. N., Gorodny, A. N., Chernikhova, E. S., Vladov, S. I. (2017). Elektrotekhnichni kompleks kontroliu stanu aviatsiinykh akumuliatornykh batarei [Electrotechnical complex of control of a condition of aviation accumulator batteries]. *Technical sciences and technologies – Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 4(10), pp. 123-132.
29. Jan Semjon, Ján Grexa, Peter Mako. (2018). Docking station design for mobile robotic platform type agv. *Technical sciences and technologies*, 4(14), pp. 210-215.

UDC 621.377

Dmytro Zakharchenko, Serhii Stepenko

REVIEW AND JUSTIFICATION OF THE ENERGY STORAGE DEVICES SELECTION FOR ELECTRIC POWER FACILITIES OPERATION

Urgency of the research. The study of electricity storage for the operation of power facilities, characteristics and their consideration when choosing the type of storage for the facility will optimize the system as a whole.

Target setting. Scientific and technical development and the environmental situation make more stringent requirements for the power system.

Actual scientific researches and issues analysis. The classification and main characteristics of existing energy storage devices, their main advantages and disadvantages are considered.

Uninvestigated parts of general matters defining. There The main problem with the use of new types of electricity storage is the lack of their widespread use in the market of electricity facilities.

The research objective. The aim of the work is to develop a methodology for determining the optimal type and model of universal electricity storage and analysis of its advantages and disadvantages.

The statement of basic materials. The analysis of existing types of electric energy storage devices and their characteristics is carried out. Methods are proposed that are based on a comparison of unit cost, volume capacity, environmental impact and service life. The main differences of each type of electricity storage, their advantages and disadvantages are analyzed.

Conclusions. The proposed method is based on a comparison of unit cost, volume capacity, environmental impact and service life. The main differences of each type of electricity storage, their advantages and disadvantages are analyzed. Using the proposed technique, the optimal choice of electricity storage for power facilities is made.

Keywords: energy storage, storage battery, lithium-ion battery, lead-acid battery, nickel-cadmium battery, unit cost.

Table: 7. Fig.: 2. References: 29.

Захарченко Дмитро Станіславович – аспірант, магістр автомобільного транспорту, Національний Університет «Чернігівська Політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Zakharchenko Dmytro - PhD student, Master of Motor Transport, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: dimazakhar@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3009-5648>

Степенко Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, Національний Університет «Чернігівська Політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Stepenko Serhii – PhD in Electrical Engineering, leading researcher, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: serhii.stepenko.ua@ieee.org

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7702-6776>

ResearcherID: F-1018-2014

Scopus Author ID: 55570068000

РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 676.18

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-210-221

Ірина Трембус, Ніна Семененко

ОДЕРЖАННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ ПШЕНИЧНОЇ СОЛОМИ У ДВОСТУПЕНЕВІЙ СИСТЕМІ ОЦТОВА КИСЛОТА – ПЕРОКСИД ВОДНЮ – ВОДА – ЕТИЛОВИЙ СПИРТ

Актуальність теми дослідження. Залучення вторинної сировини у вигляді відходів сільського господарства та розроблення нових екологічно безпечних способів делігніфікації рослинної сировини для вирішення проблем забруднення навколишнього середовища.

Постановка проблеми. Наявні методи делігніфікації рослинної сировини з використанням окисника – пероксиду водню дають змогу отримати волокнистий напівфабрикат із високим виходом, але з показниками міцності на 15-30 % нижчими в порівнянні з волокнистими напівфабрикатами, одержаним варильними розчинами при $pH > 7$. Тому необхідно вдосконалити наявні способи делігніфікації пшеничної соломи пероксидом водню в середовищі оцтової кислоти.

Аналіз останніх досліджень. Було детально розглянуто останні вітчизняні та закордонні публікації, що є у відкритому доступі, щодо окисно-органосольвентних способів делігніфікації рослинної сировини з використанням пероксидів та спиртів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Дослідження технології окисно-органосольвентної делігніфікації рослинної сировини з використанням спирту у складі варильного розчину та визначення оптимальних значень технологічних параметрів (температури і тривалості) процесу одержання солом'яних волокнистих напівфабрикатів.

Постановка завдання. Дослідження технологічних параметрів одержання солом'яної целюлози в системі оцтова кислота – пероксид водню – вода-етиловий спирт для збільшення фізико-механічних показників і виходу цільового продукту.

Виклад основного матеріалу. Досліджено двоступеневий спосіб одержання солом'яної целюлози із січки пшеничної соломи. На першій стадії делігніфікація проводилася в середовищі оцтова кислота-пероксид водню-вода при витратах пероксиду водню 50 % від маси абсолютно сухої сировини (а.с.с.). На другій стадії варіння до варильного розчину додавали 40 об'ємних % етилового спирту на заміну такої ж кількості відпрацьованого варильного розчину після першої стадії. Визначено вміст основних компонентів у вихідній рослинній сировині. Вивчено вплив умов делігніфікації, а саме температури та тривалості варіння на вихід волокнистого напівфабрикату, вміст у ньому залишкового лігніну, вміст целюлози та показники міцності. Показано, що зростання температури на першій стадії процесу від 50 до 70 °C, на другій стадії від 80 до 100 °C і тривалості обробки рослинної сировини від 60 до 120 хв та від 60 до 180 хв, відповідно до стадій процесу делігніфікації, призводить до зменшення виходу на 7,9-18,9 %, вмісту залишкового лігніну на 4,27-9,11 %, при цьому вміст целюлози у волокнистому напівфабрикаті зростає на 10,1-15,8 %. Досліджено, що показники механічної міцності одержаних волокнистих напівфабрикатів зі збільшенням температури та тривалості обробки вихідної сировини зростають. Розраховано рівняння регресії для кожної стадії варіння, які адекватно описують експериментальні дані і можуть бути використані як математична модель процесу делігніфікації пшеничної соломи пероксидом водню в середовищі оцтової кислоти. Методом багатокритеріальної оптимізації умов делігніфікації визначено оптимальні значення технологічних параметрів процесу варіння пшеничної соломи. Запропонована лігнін-вуглеводна діаграма делігніфікації рослинної сировини. Визначено ряд, в який розташовуються за ефективністю різні способи делігніфікації пшеничної соломи.

Висновки відповідно до статті. Розроблено технологію одержання солом'яних волокнистих напівфабрикатів в системі «оцтова кислота – пероксид водню – вода – етиловий спирт». Розраховано рівняння регресії, що адекватно описують експериментальні дані і можуть бути використані як математична модель дослідженого способу одержання солом'яного волокнистого напівфабрикату. Встановлено оптимальні технологічні параметри, які забезпечують одержання кінцевого продукту з високими показниками якості. Наведено лігнін-вуглеводну діаграму делігніфікації стебел пшеничної соломи різними способами варіння.

Ключові слова: пшенична солома; оцтова кислота; пероксид водню; етиловий спирт; делігніфікація; вихід волокнистого напівфабрикату; вміст залишкового лігніну; вміст целюлози; рівняння регресії; оптимізація.

Рис.: 6. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Дослідження в галузі макромолекулярних матеріалів створюють наукову основу для раціонального використання відновлювальної рослинної сировини. Беручи до уваги довгострокове глобальне економічне зростання і те, що попит на картонно-паперову продукцію у світі буде в середньому зростати на 1,1 % до 2030 року, це вимагає збільшення обсягів виробництва целюлози [1].

Основною сировиною для виробництва волокнистих напівфабрикатів (ВНФ) у світі залишається деревина хвойних і листяних порід. Для країн, в яких запаси вільної деревини обмежені, актуальною проблемою залишається пошук нових альтернативних джерел волокнистої сировини для потреб целюлозно-паперової промисловості (ЦПП) [2].

Таким джерелом може бути недеревна рослинна сировина, зокрема особливу увагу дослідників привертають стебла злакових культур. Основною перевагою такої сировини є її щорічна відновлюваність і більш низька вартість у порівнянні з деревиною [3].

Постановка проблеми. Існуючі технології отримання целюлози з деревини та недеревної рослинної сировини є енергоємні й екологічно шкідливі через використання сполук сірки та хлору. Вимоги до газових викидів і стічних вод промислових підприємств змушують використовувати більш екологічно безпечні способи делігніфікації рослинної сировини. До числа таких способів належать органосольвентні способи, насамперед окисно-органосольвентна делігніфікація рослинної сировини в середовищі «оцтова кислота – пероксид водню – вода – етиловий спирт». Головною перевагою такої делігніфікації є низька температура варіння і процес не вимагає застосування високого тиску [4]. Використання однорічних рослин як сировини для виробництва целюлози дасть змогу значно розширити сировинну базу целюлозно-паперової галузі України [5]. В умовах України такою сировиною можуть бути відходи сільського господарства, насамперед, пшенична солома. Тому існує необхідність подальшого удосконалення технології одержання солом'яних волокнистих напівфабрикатів у системі «оцтова кислота – пероксид водню – вода – етиловий спирт».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині перспективними є окиснювальні методи делігніфікації рослинної сировини пероксидом водню в кислому середовищі [5-6]. Пероксид водню є м'яким окисником і розглядається як один із найбільш прийнятних з екологічного погляду реагент для процесу делігніфікації [7]. Він утворює з органічними кислотами пероксооцтову й пероксомурашину кислоти, які характеризуються високою делігніфікуючою активністю і генеруються в процесі варіння. Використання органічних пероксокислот за їх концентрації 4-10 % дозволяє проводити делігніфікацію рослинної сировини за атмосферного тиску і температури до 100 °С та скоротити витрати свіжої води [8-10]. Використання пероксокислот не призводить до деструкції високомолекулярної складової рослинної сировини, целюлоза має високе значення показника білості, що дозволяє використовувати її в композиції паперу та картону без застосування додаткової стадії вибілювання, передбачає можливість утилізувати геміцелюлози рослинної сировини і виділяти реакційноздатний лігнін, який легко переробляється в цінні хімічні продукти [9].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Технологія варіння листяних і хвойних порід деревини в двоступеневій системі оцтова кислота – пероксид водню – вода – етиловий спирт досить широко представлена в літературі, на відміну від отримання ВНФ із відходів сільського господарства, зокрема зі стебел пшеничної соломи. Відсутні визначені оптимальні технологічні параметри (температури та тривалості варіння) процесу делігніфікації.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження процесу одержання волокнистих напівфабрикатів зі стебел пшеничної соломи варильним розчином оцтової кислоти – пероксиду водню – води – етилового спирту.

Для досягнення вказаної мети поставлено такі завдання:

- визначити хімічний склад січки пшеничної соломи;
- дослідити вплив основних факторів процесу делігніфікації на властивості кінцевого продукту;
- провести математичну обробку експериментальних даних на основі одержаних рівнянь регресії здійснити оптимізацію параметрів одержання солом'яної целюлози;
- навести лігнін – вуглеводну діаграму.

Експериментальна частина

Для проведення досліджень з отриманням солом'яних ВНФ целюлози використано висушені на повітрі стебла пшеничної соломи (*Triticum vulgare*). Пшеничну солому сортували від листя та колосся. Подрібнювали до розмірів 15-20 мм та зберігали в ексикаторі для підтримання постійної вологості та хімічного складу. Хімічний склад стебел пшеничної соломи було виконано згідно зі стандартними методиками TAPPI [11].

Процес окисно-органосольвентного варіння целюлози проводили у дві стадії. Окисне варіння січки соломи на першій стадії здійснювали варильним розчином, який містив льодяну оцтову кислоту та воду за співвідношення $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O} - 75:25$ об'ємних %, з додаванням пероксиду водню 50 % від маси а.с.с., за концентрації $\text{H}_2\text{O}_2 - 50$ %. Цим розчином проводили першу стадію варіння соломи за різної тривалості, а саме від 60 до 120 хв, за температури від 50 до 70 °С, гідромодуль варіння становив 10:1. На другій стадії проводили відбір 40 % відпрацьованого варильного розчину і додавали до розчину відповідну кількість етилового спирту ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Тривалість варіння становила від 60 до 180 хв, температура 80–100 °С. Початок варіння фіксували з моменту досягнення заданої температури. Після закінчення обробки, волокнистий напівфабрикат відокремлювали від розчину, промивали проточною водою до нейтральних значень рН промивних вод, зневоднювали та висушували до вологості 6–8 %. Для одержаного ВНФ визначали такі показники якості: вихід, вміст залишкового лігніну, вміст целюлози та фізико-механічні характеристики відповідно до стандартних методик [12].

Для отримання математичних залежностей показників якості окисно-органосольвентних солом'яних ВНФ від їх основних технологічних параметрів як математичний метод планування було використано повний факторний експеримент (ПФЕ) [13]. Цей метод широко застосовується для побудови експериментально-статистичних математичних моделей для об'єкта типу технологія – властивість. Як математичну модель обрано поліном другого порядку. Математична модель процесу варіння солом'яних окисно-органосольвентних ВНФ для кожної функції Y_i у вигляді рівнянь регресії для двох перемінних має такий вигляд:

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + b_4 \cdot x_1^2 + b_5 \cdot x_2^2, \quad (1)$$

де Y_i – показник якості солом'яного волокнистого напівфабрикату;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – коефіцієнти математичної моделі;

x_1 і x_2 – значення факторів у кодованій формі.

Змінними функціями (Y_i) було визначено такі показники якості окисно-органосольвентних солом'яних волокнистих напівфабрикатів:

Y_1 – вихід волокнистого напівфабрикату, % від маси абс. сух. сировини;

Y_2 – вміст залишкового лігніну, %;

Y_3 – вміст целюлози, %;

Y_4 – кількість подвійних перегинів, к.п.п;

Y_5 – опір продавлюванню, кПа;

Y_6 – розривна довжина, м.

Для перевірки однорідності дострокових дисперсій використовували критерій Кохрена. Значущість коефіцієнтів одержаної експериментально-статистичної моделі перевіряли за допомогою критерію Стьюдента. Перевірку адекватності одержаних математичних моделей виконували з урахуванням критерію Фішера [13].

Для пошуку оптимальних значень параметрів проведення технологічних процесів, як відомо, існують різні методи оптимізації. Одним із найбільш поширених способів розв'язання задачі оптимізації параметрів технологічних процесів за декількома показниками якості є об'єднання критеріїв (показників якості) з використанням узагальненої функції бажаності Харрінгтона D . При її побудові натуральні значення окремих показників якості (Y_i) перетворюють у безрозмірну шкалу бажаності d в інтервалі зміни від 0 до 1. Більше чисельне значення оцінки на шкалі відповідає більшій бажаності – від дуже погано ($d = 0,00-0,20$) до дуже добре ($d = 0,80-1,00$) [13]. Графічні залежності узагальненої функції бажаності D , як середнє геометричне окремих бажаностей d , на площині технологічних факторів $X_1 - X_2$ показують узгодження між усіма показниками якості (Y_i) і більш оптимальними вважаються умови, за яких функція бажаності має максимальне значення.

Виклад основного матеріалу. Як вихідну рослинну сировину використовували стебла пшеничної соломи, які мали такий хімічний склад, % від маси а.с.с.: целюлоза – 44,3; лігнін – 16,5; пентозани – 26,7; смоли жири воски (СЖВ) – 5,2; розчинність у воді – 10,1; розчинність у 1 % розчині NaOH – 38,4; зола – 6,6.

Для визначення впливу температури і тривалості обробки на показники якості солом'яного ВНФ проводили першу стадію варіння пероцтовою кислотою, яка утворювалася в процесі варіння (концентрація пероцтової кислоти не більше 6,4 %) [14]. Результати проведених досліджень наведено на рис. 1, а, б, в.

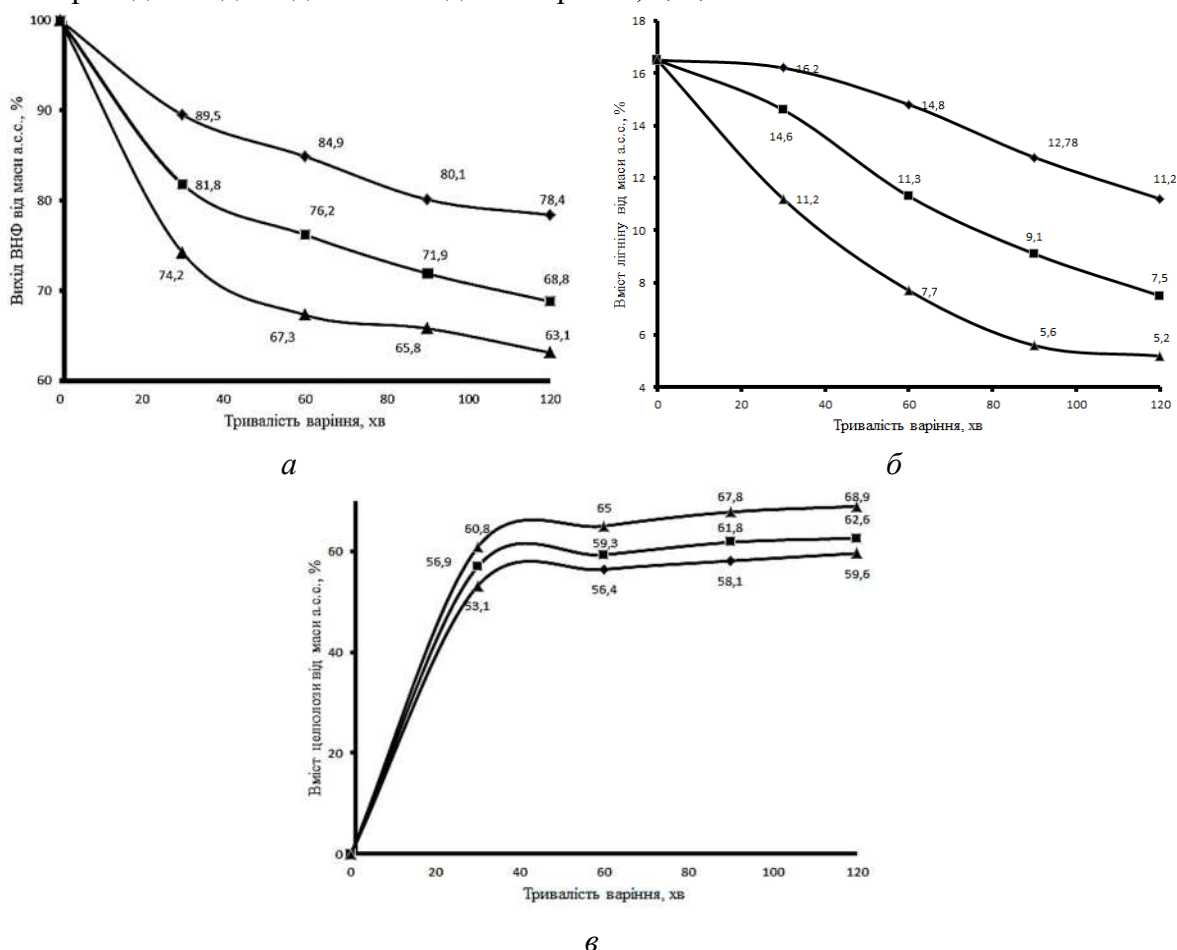


Рис. 1. Залежність виходу (а), вмісту залишкового лігніну (б) та вмісту целюлози (в) солом'яних ВНФ від тривалості процесу варіння пшеничної соломи пероцтовою кислотою за різних температур: -♦- 50 °C; -■- 60 °C; -▲- 70 °C

Зростання технологічних параметрів призводить до зниження такого показника якості технічної целюлози, як вихід (рис. 1, а), що пов'язано з прискоренням процесу деградації лігніну за рахунок кислотного розщеплення α -етерних зв'язків лігніну з утворенням проміжних бензильних карбокатионів [4]. Цим пояснюється і більш легка делігніфікація недеревної рослинної сировини, в якій частка нециклічних структур α -арильного етеру, що відповідають за деградацію лігніну, майже вдвічі більша, ніж у лігніні хвойних порід. При цьому органічний розчинник, як слабкий нуклеофіл, блокує активні центри лігніну й перешкоджає процесу його конденсації. Пероцтова делігніфікація пшеничної соломи супроводжується частковим руйнуванням полісахаридів, що також призводить до зниження виходу технічної целюлози та збільшенню в ній вмісту целюлози (рис. 1, в).

Аналогічні залежності спостерігаються на рис. 1, б, а саме вміст залишкового лігніну в солом'яному ВНФ від зміни технологічних параметрів. Експериментальні дослідження показали, що основна кількість лігніну видаляється за перші 60-90 хв делігніфікації пшеничної соломи на першій стадії в системі оцтова кислота – пероксид водню – вода. Вміст целюлози в одержаному волокнистому напівфабрикаті (рис. 1, в) збільшується за рахунок переходу у варильний розчин розчинної вуглеводної частини рослинної сировини.

Застосування першої стадії варіння призводить до того, що процес делігніфікації проходить у досить сприятливих умовах та має двосторонній характер: фрагментація лігніну з подальшою окисною деструкцією цього лігніну та переведенням його до варильного розчину.

У присутності пероксиду водню інтенсифікується реакція окислення лігніну, що дозволяє отримати продукт із високим вмістом целюлози (до 69 %). При цьому в отриманому продукті зберігається достатньо значна кількість геміцелюлоз.

Для одержання математичних моделей, що описують залежність показників якості окисно-органосольвентних солом'яних ВНФ від технологічних параметрів першої стадії варіння використовували ПФЕ типу 2². Як фактори x_i , що впливають на показники якості ВНФ, були вибрані температура x_1 та тривалість процесу x_2 .

Статистичною обробкою експериментальних даних розраховано такі рівняння регресії (в кодованій формі), що адекватно описують залежності вихідних змінних від основних обраних технологічних чинників:

Вихід волокнистого напівфабрикату, %

$$Y_1 = 70,667 - 10,817x_1 - 7,2667x_2 - 2,325x_1x_2 - 4,05x_1^2 + 2,5x_2^2.$$

Вміст залишкового лігніну, %

$$Y_2 = 4,6889 - 2,1x_1 - 2,1667x_2 + 0,375x_1x_2 + 0,86667x_1^2 + 1,1667x_2^2.$$

Вміст целюлози, %

$$Y_3 = 62,033 + 5,7x_1 + 2,8667x_2 + 0,675x_1x_2 + 3,1x_1^2 - 1,1x_2^2.$$

Аналіз наведених рівнянь регресії для виходу, вмісту залишкового лігніну свідчить, що основні фактори варіння x_1 і x_2 мають від'ємний знак. Тому збільшення температури (x_1) та тривалості процесу делігніфікації (x_2) призводить до зменшення вказаних вище показників якості ВНФ. Для значення вмісту целюлози основні фактори варіння x_1 і x_2 мають додатний знак, що свідчить про збільшення вмісту целюлози за підвищення температури та тривалості варіння. Переважаючий вплив на показники якості кінцевого продукту має температура варіння.

Отримані рівняння регресії були використані для визначення оптимальних значень параметрів проведення першої стадії варіння. Як оптимальна точка $x_{i,opt}$, визначено такі значення x_i , при яких значення Y_i найкраще задовольняють компромісній області. Значення факторів x_1 і x_2 в оптимальній точці дорівнюють: у натуральних одиницях x_1 (температура варіння) = 70 °С, x_2 (тривалість варіння) = 90 хв.

Показники якості солом'яних ВНФ, які розраховані за допомогою одержаних рівнянь регресії, в точці оптимуму мають такі значення: вихід – 65,7 %; вміст залишкового лігніну – 6,0 %; вміст целюлози – 67,6 %.

Методом багатокритеріальної оптимізації з використанням функції бажаності Харрінгтона D для знайдених рівнянь регресії $Y_1 - Y_3$ визначено компромісну область проведення першої стадії варіння пшеничної соломи залежно від основних технологічних параметрів (x_i), яку наведено на рис. 2 (область розташована на площині $X_1 - X_2$).

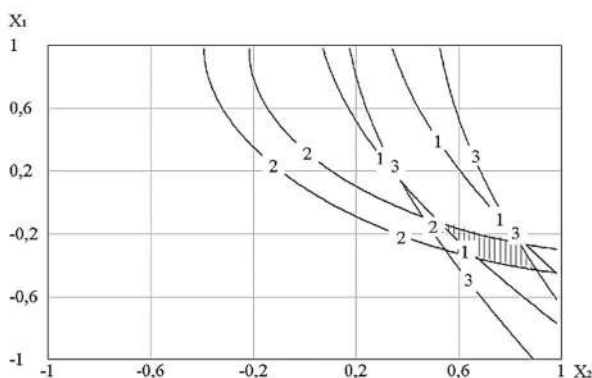


Рис. 2. Компромісна область проведення першої стадії варіння пшеничної соломи:
 1 – вихід ВНФ, %; 2 – вміст залишкового лігніну, %; 3 – вміст целюлози, %

Другу стадію варіння проводили з додаванням до варильного розчину 40 мл етилового спирту на заміну такої ж кількості відпрацьованого варильного розчину. Результати впливу тривалості й температури процесу делігніфікації на якість одержаного волокнистого напівфабрикату наведено на рис. 3, а, б, в.

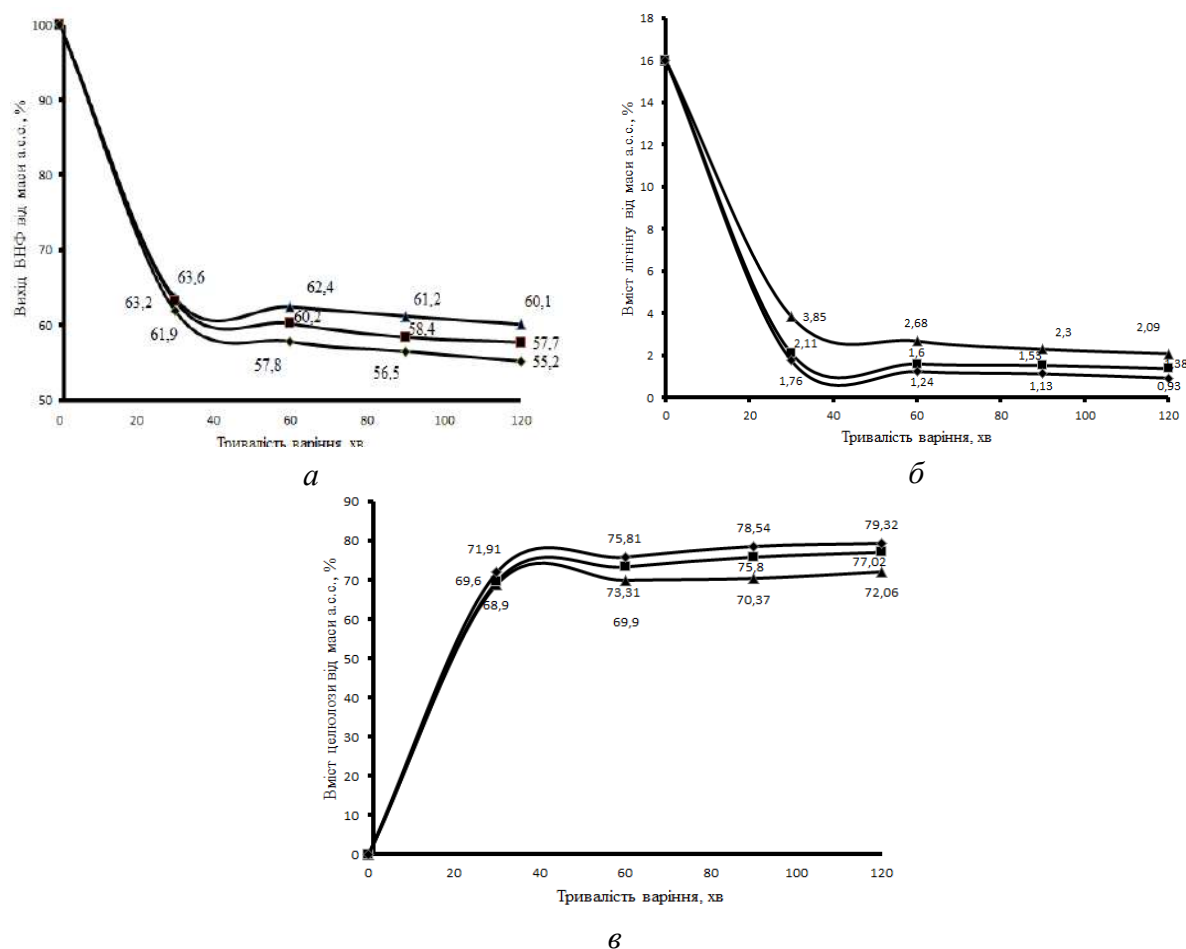


Рис. 3. Залежність виходу (а), вмісту залишкового лігніну (б) та вмісту целюлози (в) у солоних ВНФ від тривалості процесу варіння в системі $CH_3C(O)O-OH : C_2H_5OH : H_2O$ за різних температур: -▲- 80 °C; -■- 90 °C; -◆- 100 °C

Як видно з графічних залежностей рис. 3, *а* зі зростанням температури та тривалості варіння, вихід солом'яного волокнистого напівфабрикату зменшується на 7,9–18,9 %. Вміст залишкового лігніну (рис. 3, *б*) зменшується на 4,27–9,11 %, вміст целюлози збільшується на 10,1–15,8 % (рис. 3, *в*), якщо порівнювати з першою стадією варіння. У порівнянні з пероцтовим варінням, вихід ВНФ за дослідженого способу делігніфікації більший на 5,3 %, при цьому вміст залишкового лігніну майже однаковий. Це свідчить про те, що введення етилового спирту підвищує швидкість та вибірковість процесу делігніфікації січки пшеничної соломи пероцтовою кислотою, яка утворюється в процесі варіння.

Експериментальні дослідження показали, що процес делігніфікації січки соломи в системі $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}-\text{OH} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{H}_2\text{O}$ припиняється після 90–120 хв варіння за температури $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$. Подальше продовження варіння призводить до деструкції вуглеводневих компонентів рослинної сировини, а саме за майже однакового вмісту залишкового лігніну, відбувається зниження виходу на 4–6 %.

Для дослідження фізико-механічних характеристик одержаної целюлози було виготовлено лабораторні відливки масою 75 г/м^2 [12]. Результати проведених досліджень наведено на рис. 4, *а*, *б*, *в*.

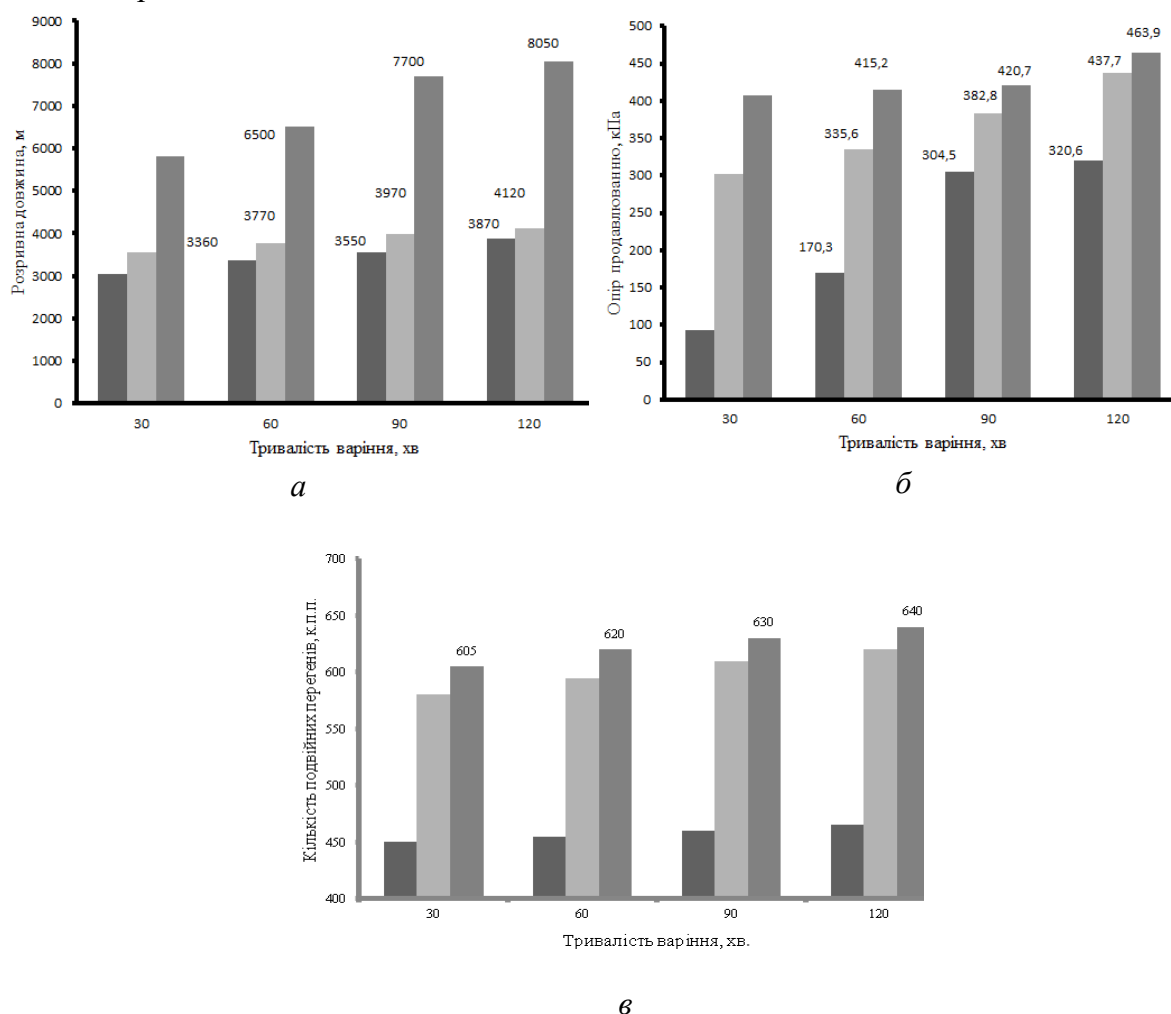


Рис. 4. Показники міцності одержаних окисно-органосольвентних солом'яних волокнистих напівфабрикатів: розривна довжина (*а*); опір продавлюванню (*б*); кількість подвійних перегинів (*в*)

Із наведених на рис. 4 даних видно, що зі збільшенням тривалості процесу варіння, фізико-механічні показники одержаних ВНФ зростають, що пояснюється кращими паперотвірними властивостями солом'яної целюлози за рахунок утворення додаткових водневих зв'язків між полісахаридами і високим вмістом в них геміцелюлоз, які сприяють покращенню механічної міцності.

Відомо [15], що фізико-механічні показники органосольвентної целюлози також залежать від рН варильних розчинів. Так, показники міцності волокнистих напівфабрикатів, одержаних в кислому середовищі, як правило, нижчі, за аналогічні показники ВНФ одержаних у лужному середовищі. Особливо це стосується розривної довжини, на значення якого впливає вміст геміцелюлоз у ВНФ, структура одержаних ВНФ, властивості поверхні волокон. З експериментальних даних видно, що солом'яна целюлоза, одержана дослідженим способом, за показником розривної довжини наближається до відповідних показників целюлози, одержаних при лужному рН.

Статистичною обробкою експериментальних даних розраховано наступні рівняння регресії (в кодованій формі), що адекватно описують залежності вихідних змінних від основних обраних технологічних чинників:

Вихід волокнистого напівфабрикату, %

$$Y_1 = 59,433 - 5,7167x_1 - 2,6833x_2 + 0,675x_1x_2 - 3,45x_1^2 + 0,45x_2^2.$$

Вміст залишкового лігніну, %

$$Y_2 = 0,78889 - 0,58167x_1 - 0,45333x_2 + 0,2925x_1x_2 + 0,33167x_1^2 + 0,07667x_2^2.$$

Вміст целюлози, %

$$Y_3 = 75,767 + 3,4383x_1 + 4,4217x_2 - 0,73x_1x_2 - 2,595x_1^2 + 0,335x_2^2.$$

Міцність на злам під час багаторазових перегинів

$$Y_4 = 112,22 + 36,667x_1 + 14,167x_2 + 5x_1x_2 - 18,333x_1^2 + 4,1667x_2^2.$$

Опір продавлюванню, кПа

$$Y_5 = 397,72 + 84,067x_1 + 46,85x_2 - 25,4x_1x_2 - 42,733x_1^2 - 8,6833x_2^2.$$

Розривна довжина, м

$$Y_6 = 4172,2 + 1778,3x_1 + 951,67x_2 + 60x_1x_2 + 1351,7x_1^2 + 424,67x_2^2.$$

Отримані рівняння регресії були використані для визначення оптимальних значень параметрів проведення процесу делігніфікації. В якості оптимальної точки x_{iopt} , визначені такі значення x_i , при яких значення Y_i найкраще задовольняють компромісній області. Значення факторів x_1 і x_2 в оптимальній точці дорівнюють: в натуральних одиницях x_1 (температура варіння) = 100 °С, x_2 (тривалість варіння) = 100 хвилин.

Показники якості солом'яних ВНФ, які розраховані за допомогою одержаних рівнянь регресії, в точці оптимуму мають такі значення: вихід – 55,7 %; вміст залишкового лігніну – 1,05 %; вміст целюлози – 79,6 %; міцність на злам під час багаторазових перегинів – 635 ч.п.п.; опір продавлюванню – 428,7 кПа; розривна довжина – 7900 м.

Методом багатокритеріальної оптимізації з використанням функції бажаності Харінгтона D для розрахованих рівнянь регресії $Y_1 - Y_6$ визначено компромісну область проведення варіння пшеничної соломи залежно від основних технологічних параметрів (x_i), яку наведено на рис. 5.

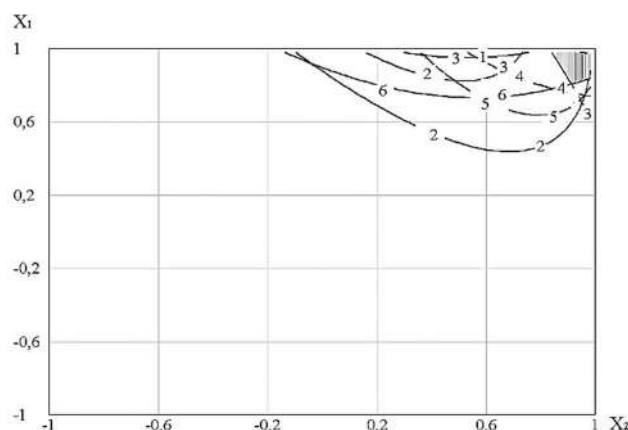


Рис. 5. Компромісна область проведення варіння пшеничної соломи в системі $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}-\text{OH} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{H}_2\text{O}$: 1 – вихід ВНФ, %; 2 – вміст залишкового лігніну, %; 3 – вміст целюлози, %. 4- міцність на злам під час багаторазових перегинів; 5 – опір продавлюванню; 6 – розривна довжина

Для порівняння ефективності різних способів делігніфікації січки пшеничної соломи на рис. 6 наведено діаграму, яка характеризує залежність вмісту виходу одержаного волокнистого напівфабрикату від вмісту в ньому залишкового лігніну.

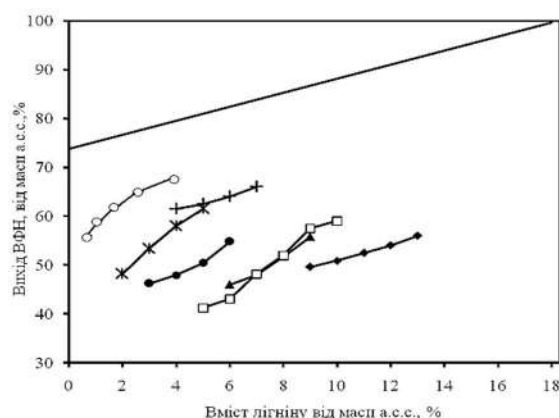


Рис. 6. Залежність виходу ВНФ із стебел пшеничної соломи, одержаних різними способами делігніфікації від вмісту залишкового лігніну:

- o- $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{H}_2\text{O}$; +- ASAE [16]; -* MILOX [16];
-●- ПОК + каталізатор [16]; -□- ПОК [16]; -▲- H-Cy [16]; -◆- Na [16].

Лінія «ідеальної делігніфікації» (рис. 6) характеризує максимальний вміст полісахаридів рослинної сировини для певного вмісту залишкового лігніну у волокнистому напівфабрикаті. Тому чим ближче лінія конкретного процесу делігніфікації до лінії «ідеальної делігніфікації» для певного залишкового лігніну, тим більший вихід ВНФ за рахунок збереження, насамперед полісахаридів (целюлози і геміцелюлози).

Із діаграми (рис. 6) можна зробити висновок про те, що за наближенням до «ідеальної лінії делігніфікації», тобто за збільшенням ефективності одержання із стебел пшеничної соломи ВНФ різними способами делігніфікації, їх можна розташувати в порядку зростання в наступній послідовності: Na – H-Cy – ПОК – ПОК+каталізатор – MILOX – ASAE – $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}-\text{OH} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{H}_2\text{O}$.

Висновки відповідно до статті. Уперше науково обґрунтовано технологію отримання вибіленої целюлози із пшеничної соломи у двоступеневій системі $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}-\text{OH} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{H}_2\text{O}$. Отримано солон'яний ВНФ з виходом від 78,4 до 55,2 %, вмістом залишкового лігніну від 11,2 до 0,93 % та вмістом целюлози від 59,6 до 79,3 %.

За результатами комплексних досліджень визначено, що дослідженим способом варіння січки пшеничної соломи можна одержати целюлозу з наступними показниками міцності: розривна довжина від 3040 до 8050 м, опір продавлюванню від 92,8 до 463,9 кПа, міцність на злам під час багаторазових перегинів від 450 до 640 ч.п.п. Такі показники міцності дозволяють у подальшому провести дослідження з метою одержання пакувальних видів паперу, в композиції якого будуть використані одержані солом'яні волокнисті напівфабрикати.

Розраховано рівняння регресії, які адекватно описують експериментальні дані й можуть бути використані як математична модель дослідженого способу варіння. Методом багатокритеріальної оптимізації визначено оптимальні умови процесу й показники якості солом'яної целюлози в точці оптимуму.

Показано, що застосування даної технології дозволяє отримати целюлозу з виходом більшим на 5,3 % у порівнянні з целюлозою, отриманою пероцтовим варінням (за однакового ступеня делігніфікації вихід пероцтового ВНФ становить 50,4 %).

Запропоновано лігнін вуглеводну діаграму. Показано розташування розглянутих способів делігніфікації пшеничної соломи за збільшенням ефективності видалення лігніну із стебел пшеничної соломи, які розподіляються у наступний ряд: Na – H-Cy – ПОК – ПОК + каталізатор – MILOX – ASAE – CH₃C(O)O-OH : C₂H₅OH : H₂O₂.

Список використаних джерел

1. Трембус І. В., Соколовська Н. В., Галиш В. В., Носачова Ю. В., Оверченко Т. А. Низькотемпературна делігніфікація пшеничної соломи органічними кислотами. *Питання хімії і хімічної технології*. 2019. № 1. С. 82–89.
2. Fagbemigun T. K., Fagbemi O. D., Otitoju O., Mgbachiuzor E., Igme C. C. Pulp and paper-making potential of corn husk. *Int. J. AgriScience*. 2014. № 4. Pp. 209–213.
3. Барбаш В. А., Дейкун І. М. Хімія рослинних полімерів : навчальний посібник. Київ : Едельвейс, 2014. 440 с.
4. Пен Р. З., Каретникова Н. В., Вшишкова І. А., Пен В. Р. Делигніфікація пшеничної соломи пероксоеднаннями. *Фундаментальні дослідження*. 2013. № 6. С. 855–858.
5. Пен Р. З., Каретникова Н. В., Катализуемая делігніфікація деревини пероксидом водорода і пероксикислотами. *Хімія рослинного сировини*. 2005. № 3. С. 61–73.
6. Трембус І. В., Соколовська Н. В. Делігніфікація пшеничної соломи в системі CH₃COOH – H₂O – H₂O₂. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe East European Scientific Journal*. 2018. № 2(30), ч. 2. Pp. 61–66.
7. Smook G. A. Handbook for pulp and paper technologists. *Angus Wilde Publications*. Canada, 2002. 425 p.
8. Rodriguez A., Moral A., Serrano L., Labidi J., Jiménez L. Rice straw pulp obtained by using various methods. *Bioresource Technology*. 2008. № 99(8). Pp. 2881–2886.
9. El-Ghany N. Organosolv pulping of cotton linters. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2009. № 43. P. 419–426.
10. Michael A Johnson, Mohammad H. Moradi. New Identification and Design Methods. Springer, 2005. 543 p.
11. TAPPI Test Methods. Atlanta, Georgia, *Tappi Press* (2004).
12. ГОСТ 14363.4-89 (ИСО 5264-3-79, ИСО 5269-2-80). Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. Москва : Издательство стандартов, 1989. 16 с.
13. Барбаш В. А., Дейкун І. М. Оптимізація процесу одержання целюлози для хімічної переробки натронним способом з попереднім гідролізом. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2003. № 1. С. 74–78.
14. Edel R. M., Brunow G. Reactions of β-aryl ether lignin model compounds under formic acid and peroxyformic acid pulping conditions. *The Intern. Symp. on Wood and Pulping Chemistry*. May 22–25; Raleigh, -NC, -USA, 1989.
15. Барбаш В. А., Трембус І. В. Органосольвентные способы получения волокнистых полуфабрикатов из пшеничной соломы. *Энерготехнология и ресурсосбережение*. 2009. № 1. С. 37–41.
16. Barbash V., Trembus I., Sokolovska N. Performic pulp from wheat straw. *Cellulose chemistry and technology*. 2018. № 52(7-8). Pp. 673–680.

References

1. Trembus, I. V., Sokolovska, N. V., Halysh, V. V., Nosachova, Yu. V., Overchenko, T. A. (2019). Nyzkotemperaturna delihnifikatsiia pshenichnoi solomy orhanichnymy kyslotamy [Low temperature delignification of wheat straw with organic acids]. *Pytannia khimii i khimichnoi tekhnologii – Questions of chemistry and chemical technology*, (1), pp. 82–89.
2. Fagbemigun, T. K., Fagbemi, O. D., Otitoju, O., Mgbachiuozor, E., Igme, C. C. (2014). Pulp and paper-making potential of corn husk. *Int. J. AgriScience*, (4), pp. 209–213.
3. Barbash, V. A., Deikun, I. M. (2014). *Himiia roslinnykh polimeriv [Chemistry of plant polymers]*. Edelveis.
4. Pen, R. Z., Karetnykova, N. V., Vshyshkova, Y. A., Pen, V. R. (2013) Delihnifikatsiia pshenichnoi solomy peroksoiedineniiami [Delignification of wheat straw by peroxy compounds]. *Fundamentalnye issledovaniia – Basic research*, (6), pp. 855–858.
5. Pen, R. Z., Karetnykova, N. V. (2005) Kataliziruyemaia delihnifikatsiia drevesiny peroksidom vodoroda i peroksikislotami [Catalyzed wood delignification with hydrogen peroxide and peroxyacids]. *Khimiia rastitel'nogo syria – Chemistry of plant raw materials*, (3), pp. 61–73.
6. Trembus, I. V., Sokolovska, N. V. (2018). Delihnifikatsiia pshenichnoi solomy v systemi $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}_2$ [Delignification of wheat straw in the system $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}_2$]. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe East European Scientific Journal*, 2(30)(2), pp. 61–66.
7. Smook, G. A. (2002). Handbook for pulp and paper technologists. *Angus Wilde Publications*.
8. Rodriguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., Jiménez, L. (2008). Rice straw pulp obtained by using various methods. *Bioresource Technology*, (99(8)), pp. 2881–2886.
9. El-Ghany, N. (2009). Organosolv pulping of cotton linters. *Cellulose Chemistry and Technology*, (43), pp. 419–426.
10. Michael, A Johnson, Mohammad, H. Moradi. (2005). *New Identification and Design Methods*.
11. Test Methods. (2004) *Tappi press*.
12. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards]. (1989). *Tsellyuloza. Metod podgotovki prob k fiziko-mekhanicheskim ispytaniyam [Cellulose. Method for preparing samples for physical and mechanical tests]*. (State Standard 14363.4-89 (ISO 5264-3-79, ISO 5269-2-80).
13. Barbash, V. A., Deikun, I. M. (2003). Optyimizatsiia protsesu oderzhannia tseliulozy dlia khimichnoi pererobky natronnym sposobom z poperednim hidrolizom [Optimization of the process of obtaining cellulose for chemical processing by sludge with preliminary hydrolysis]. *Naukovi visti NTUU «KPI» – Scientific news of NTUU “KPI”*, (1), pp. 74–78.
14. Edel, R. M., Brunow, G. (May 22–25, 1989). Reactions of β -aryl ether lignin model compounds under formic acid and peroxyformic acid pulping conditions. *The Intern. Symp. on Wood and Pulping Chemistry*. Raleigh.
15. Barbash, V. A., Trembus, Y. V. (2009). Organosolventnye sposoby polucheniia voloknistykh polufabrikatov iz pshenichnoy solomy [Organosolvent methods for producing fibrous semi-finished products from wheat straw]. *Energotekhnologiya i resursosberezhenie – Energy technology and resource conservation*, (1), pp. 37–41.
16. Barbash, V., Trembus, I., Sokolovska, N. (2018). Performic pulp from wheat straw. *Cellulose chemistry and technology*, (52(7-8)), pp. 673-680.

UDC 676.18

Irina Trembus, Nina Semenenko

OBTAINING PULP FROM WHEAT STRAW IN A TWO-STAGE SYSTEM “ACETIC ACID – HYDROGEN PEROXIDE – WATER – ETHANOL”

Urgency of the research. Involvement of secondary raw materials in the form of agricultural waste and development of new ecologically safe ways of delignification of vegetable raw materials to solve problems of environmental pollution.

Target setting. Available methods of delignification of vegetable raw materials using oxidant - hydrogen peroxide allow to obtain a fibrous semi-finished product with a high yield, but with strength values of 15-30% lower compared to fibrous semi-finished products obtained by cooking solutions at $\text{pH} > 7$. Therefore, it is necessary to improve existing methods. hydrogen peroxide in acetic acid.

Actual scientific researches and issues analysis. The latest available domestic and foreign publications on oxidative-organosolvent methods of delignification of plant raw materials using peroxyacids and alcohols were considered in detail.

Uninvestigated parts of general matters defining. Research of technology of oxidative-organosolvent delignification of vegetable raw materials with use of alcohol as a part of a cooking solution and definition of optimum values of technological parameters (temperature and duration) of process of reception of straw fibrous semi-finished products.

The research objective. Investigation of technological parameters of straw cellulose production in the system acetic acid-hydrogen peroxide-water-ethyl alcohol in order to increase the physical and mechanical parameters and the yield of the target product.

The statement of basic materials. A two-stage method for producing straw pulp from wheat straw at the first stage has been investigated. Delignification was carried out in the "acetic acid-hydrogen peroxide-water" environment at a hydrogen peroxide consumption of 50% of the mass of absolutely dry raw material (a.d.r.m.) and at the second stage of cooking, 40 volume % of ethyl alcohol was added to the cooking solution to replace the same amount of spent cooking solution after the first stage. The content of the main components in the original plant raw materials is determined. The influence of delignification conditions, namely temperature and duration of cooking on the yield of fibrous semi-finished product, the content of residual lignin, cellulose content and strength indicators was studied. It is shown that the temperature increase at the first stage of the process from 50 °C to 70 °C, at the second stage from 80 to 100 °C and the duration of processing of vegetable raw materials from 60 to 120 min. and from 60 to 180 minutes, according to the stages of the delignification process, leads to a decrease in yield by 7.9-18.9%, the residual lignin content by 4.27-9.11%, while the cellulose content in the fibrous semi-finished product increases by 10.1-15.8 %. It is investigated that the indicators of mechanical strength of the obtained fibrous semi-finished products increase with increasing temperature and duration of processing of raw materials. Regression equations for each stage of cooking are calculated, which adequately describe the experimental data and can be used as a mathematical model of the process of delignification of wheat straw with hydrogen peroxide in acetic acid. The method of multicriteria optimization of delignification conditions determines the optimal values of technological parameters of the wheat straw cooking process. The lignin-carbohydrate diagram of delignification of vegetable raw materials is offered. The number in which various methods of delignification of wheat straw are located on efficiency is defined.

Conclusions. The technology of obtaining straw fibrous semi-finished products in the system "acetic acid-hydrogen peroxide-water-ethanol" has been developed. Regression equations are calculated that adequately describe the experimental data and can be used as a mathematical model of the investigated method of obtaining straw fibrous semi-finished product. The optimal technological parameters are established, which ensure the production of the final product with high quality indicators. The lignin-carbohydrate diagram of delignification of wheat straw stalks by different cooking methods is given.

Keywords: wheat straw, acetic acid, hydrogen peroxide, ethanol, delignification, yield of fibrous semi-finished product, residual lignin content, pulp content, regression equation, optimization.

Fig.: 6. References: 15.

Трембус Ірина Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського (вул. Академіка Янгеля 3, м. Київ, 03056, Україна).

Trembus Irina – PhD., Associate Professor of Ecology and technology of plant polymers Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (3 Academician Yangel Str., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: tivkpi@gmail.com,

Scopus Author ID: 55227349800

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6985-4424>

Семененко Ніна Валеріївна – аспірантка кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського (вул. Академіка Янгеля 3, м. Київ, 03056, Україна).

Semenenko Nina – PhD student of Ecology and Technology of Plant Polymers Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (3 Academician Yangel Str., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: nina_sokolovska@ukr.net

Scopus Author ID: 57203786467

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6297-516X>

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 624.057(477.51)

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-222-229

Володимир Іванишин, Віктор Бугай, Микола Корзаченко

ПОЛЬОВІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ВИШУКУВАННЯ ПІД БУДІВНИЦТВО ДЕСЯТИПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ НА ВУЛИЦІ НЕЗАЛЕЖНОСТІ В МІСТІ ЧЕРНІГОВІ

Актуальність теми дослідження. Без інженерно-геологічних досліджень (вишукувань) на ділянках, відведених під будівництво будівель і споруд, будівництво не повинно починатися. Тому такі дослідження завжди актуальні.

Постановка проблеми. Майже вся територія міста Чернігова і Чернігівської області вкрита четвертинними відкладами, які мають різну товщину й літологічний склад, що вважається негативним фактором при зведенні різних будівельних об'єктів. Через це на кожному будівельному майданчику (площі) потрібно детально вивчати його геологічні і гідрогеологічні умови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Для Чернігівщини загальною складною недостатньо вирішеною проблемою є картина поширення, товщини та літологія четвертинних відкладень.

Постановка завдання. Дослідження геологічної будови і гідрогеологічних умов ділянки під будівництво трьох десятиповерхових житлових будинків на вулиці Незалежності в місті Чернігові.

Виклад основного матеріалу. За геоморфологією досліджувана ділянка знаходиться на Чернігівсько-Городнянській моренно-зандровій рівнині на приводороздільній частині рік Стрижня та Білоуса. Згідно з тектонічним районуванням вона відноситься до приосьової зони північно-західної частини Дніпровсько-Донецької западини. У геологічних розрізах за результатами опрацювання матеріалів буріння і статичного зондування виділено 11 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ). Геологічний розріз до глибини 20 м складений сучасними техногенними, верхньо- і середньочетвертинними відкладами. Гідрогеологічні умови ділянки визначені ґрунтовими водами безнапірного типу, які знаходяться на глибині 3-3,5 м. Загалом ділянка відноситься до II категорії за складністю інженерно-геологічних умов.

Висновки відповідно до статті. За результатами виконаних вишукувань встановлено, що товща ґрунтів на ділянці є неоднорідною, що підтверджується виділенням у ній 11 інженерно-геологічних елементів. Ґрунти ІГЕ 2, 4-6 є просідними при додаткових навантаженнях. Ґрунтові води неагресивні до всіх марок бетонів, цементів і арматури залізобетонних конструкцій.

Ключові слова: відклади; ґрунти; горизонти; інженерно-геологічні елементи; свердловина; статичне зондування; ґрунтові води.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Без інженерно-геологічних досліджень (вишукувань) на ділянках, відведених під будівництво будівель і споруд, будівництво не повинно починатися. Тому такі дослідження завжди актуальні.

Постановка проблеми. Майже вся територія міста Чернігова і Чернігівської області вкрита четвертинними відкладами, які мають різну товщину й літологічний склад, що вважається негативним фактором при зведенні різних будівельних об'єктів. Через це на кожному будівельному майданчику (площі) потрібно детально вивчати його геологічні й гідрогеологічні умови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виконавши аналіз літературних джерел за цим напрямом, було встановлено, що публікації, що стосувалися безпосередньо досліджуваного будівельного майданчика відсутні. В окремих статтях міститься інформація про рельєф території, кліматичні дані та рівні ґрунтових вод [1].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Для Чернігівщини загальною складною недостатньо вирішеною проблемою є картина поширення, товщини та літологія четвертинних відкладень.

Постановка завдання. Дослідження геологічної будови й гідрогеологічних умов ділянки під будівництво трьох десятиповерхових житлових будинків на вулиці Незалежності в місті Чернігові.

Виклад основного матеріалу. Досліджена ділянка розташована в північній частині міста Чернігова в мікрорайоні Масани між вулицями Незалежності та Красносільського. Інженерно-геологічні вишукування виконані товариством з обмежувальною відповідальністю (ТОВ) «Чернігівбудрозвідування» у грудні 2017 року.

У цьому районі у 2008 році були проведені інженерно-геологічні вишукування для обґрунтування проєкту будівництва кварталу багатоквартирних житлових будинків на пальових фундаментах, які були враховані при дослідженнях 2017 року. Частина з них опублікована [1].

В аналогічних інженерно-геологічних умовах поблизу досліджуваної ділянки знаходяться одноповерхові споруди ринку, супермаркету, станції технічного обслуговування (СТО) та приватні будинки масиву «Нова Подусівка», що побудовані на стрічкових фундаментах. Усі ці споруди були обстежені, за результатами чого деформації надфундаментних конструкцій не було встановлено.

Інформація про склад, обсяги та методику виконаних робіт дається в таблиці.

Таблиця

Склад, обсяги та методика робіт

№ з/п	Види робіт	Одиниці вимірювання	Кількість шт./м.п.	Методика виконаних робіт
Польові роботи				
1	Буріння свердловин	шт./м	3/60	Спосіб буріння – механічний та ударно-контактний
2	Статичне зондування	шт./м	6/20	[2]
3	Буріння шурфів	шт./м	1/5	[2]
4	Відбір монолітів	шт.	20	[3]
Лабораторні роботи				
5	Межі текучості та консистенція	зразки	39	[4]
6	Щільність ґрунтів	зразки	72	[4]
7	Гранулометричний склад	зразки	2	[5]
8	Компресійні випробування	зразки	12	[6]
9	Визначення спротиву зрізу	зразки	12	[6]
10	Аналіз ґрунтових вод	проби	3	[7]

За геоморфологічними ознаками ділянка робіт розташована на Чернігівсько-Городнянській моренно-зандровій рівнині. Рельєф ділянки полого рівнинний із нахилом на схід і абсолютними відмітками поверхні землі від 143,7 до 144,2 м. Клімат у районі помірний, вологий. Середня січнева температура становить – 6-7 °С, а максимальна – 33-36 °С. сніговий покрив досягає 30-40 см, а глибина промерзання ґрунту – до 1,5 м. літом мінімальна температура складає +19-+20 °С, максимальна – +37-+39 °С. Сума річних опадів досягає 500-600 мм, 70 % яких випадає в теплі місяці року. Випаровування з поверхні землі досягає 520 мм за рік.

За тектонічним районуванням територія досліджень відноситься до приосьової зони північно-західної частини Дніпровсько-Донецької западини.

Інженерно-геологічна будова ділянки ґрунтується на розрізах I-I' і II-II' (рис. 1, 2) представлених інженерно-геологічними елементами 1-11 (рис. 3), які виділені за результатами буріння свердловин з врахуванням даних лабораторних досліджень (рис. 4), статичного зондування (рис. 5) та вишукувань минулих років. Розкриті породи залягають похило-горизонтально.

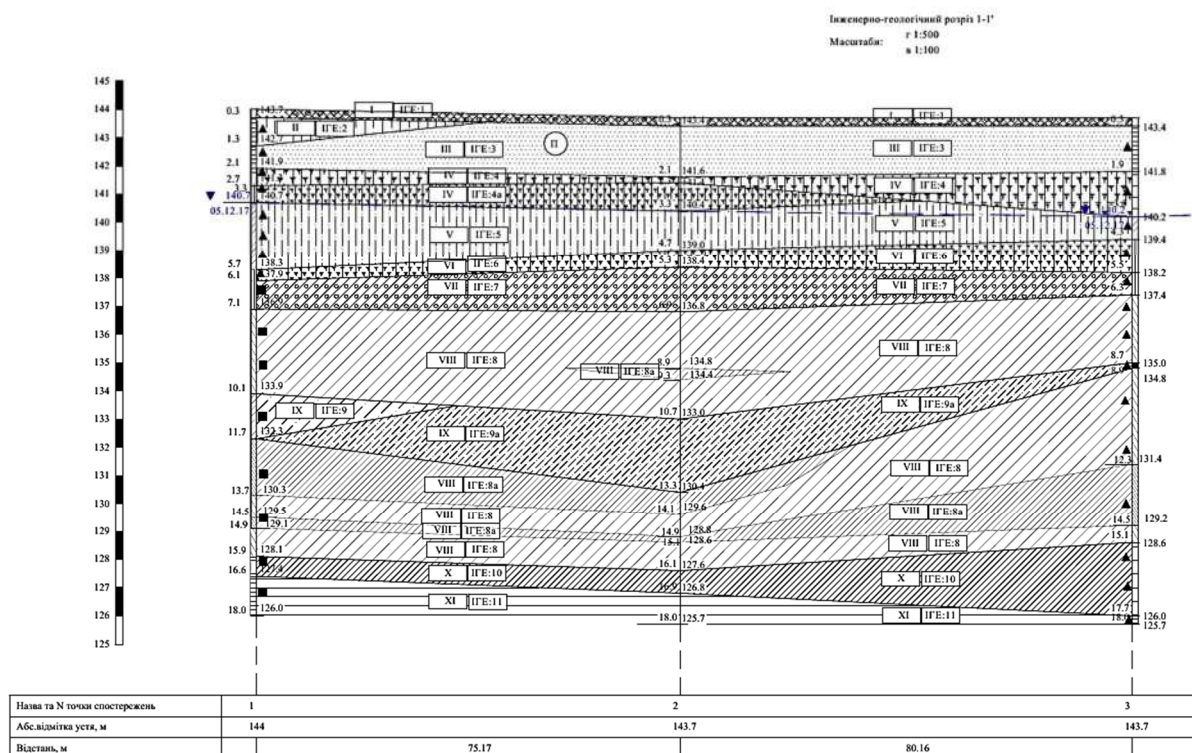


Рис. 1. Геологічний розріз I-I

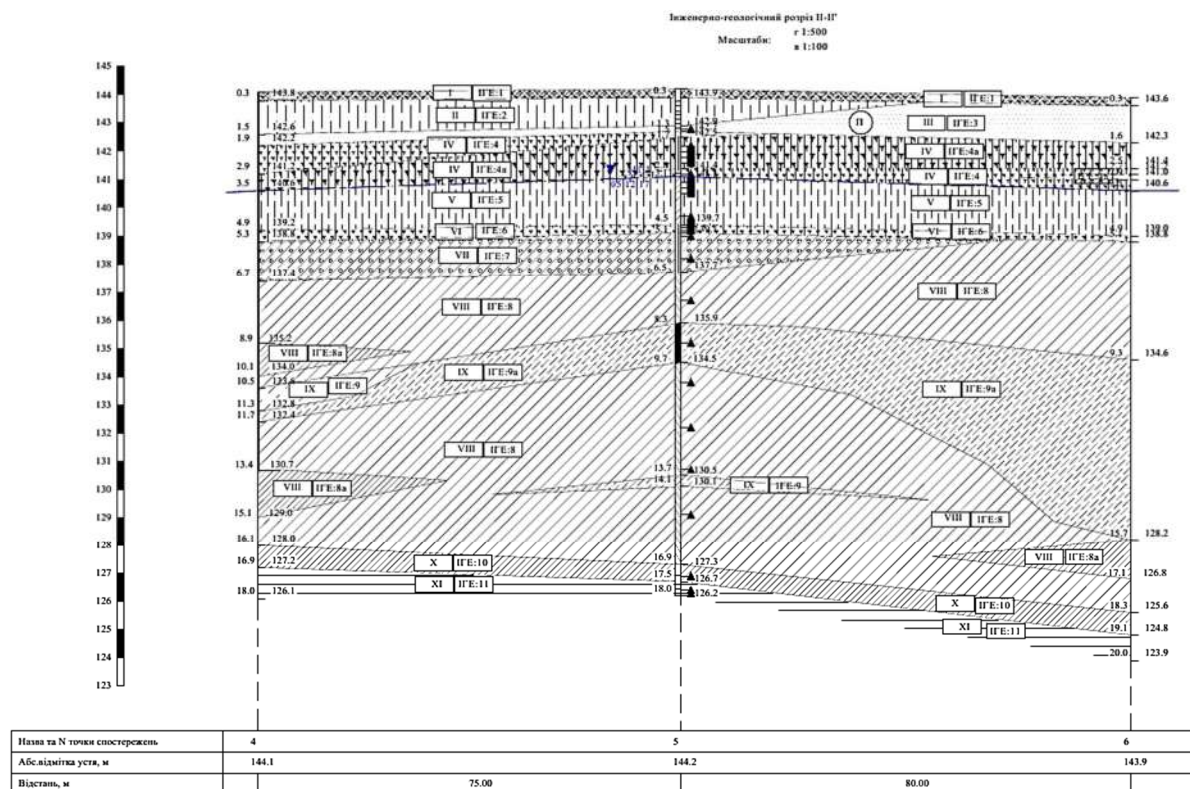


Рис. 2. Геологічний розріз II-II

Індекс ґрунту І нму ґрунту	Літологічний розріз, номер зразка та інженерно-геологічне описання	Назва ґрунту (зігдно з ГОСТ 25100-82 ДСТУ Б В.2.1-2:96)	Нормативні значення													Розрахункові значення										
			Прорідна вологість	Глибина тексті	Глибина розкопування	Число пластичності	Показник консистенції	Щільність часток ґрунту	Щільність ґрунту	Щільність сухого ґрунту	Пористість	Коефіцієнт пористості	Суміш вологість	Вологість покла	Кулі м'якшого ґрунту	Питома вага	Модуль деформування	Щільність	Кулі м'якшого ґрунту	Питома вага	Питома вага	Питома вага	Питома вага	Питома вага	Відсоток розпада при 100 кПа	Відсоток розпада при 100 кПа
			W	W _L	W _p	I _p	I _L	ρ _s	ρ	ρ _d	n	e	S _w	W _{cl}	φ ⁰	e [*]	E _{mod}	ρ ⁿ	φ ⁿ	φ ¹	e ⁿ	e ¹	q	S	S	S
IV		Насипний ґрунт																								
vd III pc		Супісок лессовидний, ліщинистий, бурий, пластичний	0,12	0,18	0,15	0,03	<0	2,67	1,86	1,66	0,38	0,61	0,53	0,23	19	15	8,5 4,3	18,6±	19	16	15	10	2,6	28	1,6	36B
vd III pc		Пісок піллуватий, жовтий, малоуголовий	0,12					2,66	1,80	1,61	0,39	0,65	0,48	0,25	30	4	18	18,0±	30	27	4	2	6	-	-	29A
e III df		Похований ґрунт, суглинок, жовто-бурий, напівтвердий	0,21	0,31	0,21	0,10	0	2,68	1,66	1,37	0,49	0,96	0,58	0,36	14	12	6 3	16,6±	14	12	12	8	1,6	45	2,8	35B
e III df		Похований ґрунт, суглинок, жовто-бурий, тугопластичний	0,24	0,31	0,20	0,11	0,32	2,68	1,70	1,38	0,48	0,95	0,69	0,35	14	12	5,3 3,2	17,0±0,2	14	12	12	8	0,7	45	2,8	35B
vd III bg		Супісок лессовидний, сіро-жовтий, пластичний	0,23	0,26	0,19	0,07	0,57	2,67	1,74	1,41	0,47	0,89	0,70	0,33	17	17	11,5 7	17,4±0,2	17	14	17	12	0,4	170	2,8	36A
e III pl		Похований ґрунт, суглинок, темно-сірий, тугопластичний	0,25	0,32	0,22	0,10	0,30	2,68	1,68	1,33	0,50	1,02	0,68	0,37	15	14	12,5 4,9	16,8±0,3	15	13	14	9	0,6	180	2,8	35B
g III dn		Суглинок, сірчаво-жовтий, тугопластичний з гравієм кристалічних порід	0,19	0,23	0,15	0,08	0,50	2,68	2,02	1,72	0,36	0,56	0,86	0,21	30	24	18	20,2±0,5	30	26	24	16	2,5			36B
f III dn		Суглинок, сірчаво-жовтий, макопластичний	0,23	0,26	0,18	0,08	0,69	2,68	1,98	1,60	0,40	0,67	0,92	0,25	18	10	17	19,8±0,3	17	16	9	6	1,4			35A
f III dn		Суглинок, сірчаво-жовтий, тугопластичний	0,26	0,26	0,18	0,08	1,0	2,68	1,95	1,55	0,42	0,72	0,95	0,27	20	9	12	19,5±0,4	20	17	9	6	2,5			35A
f III dn		Супісок, сіноовато-жовтий, пластичний	0,24	0,27	0,21	0,06	0,50	2,67	2,02	1,63	0,39	0,64	1,00	0,24	24	13	16	20,2±0,1	24	20	13	8	3,6			36A
f III dn		Супісок, сіноовато-жовтий, текучий	0,24	0,20	0,17	0,03	<1	2,67	1,98	1,60	0,40	0,67	0,96	0,25	20	4	16	19,8±0,1	20	17	4	2	1,2			36A
lg III dn		Суглинок, сіноовато-жовтий, напівтвердий	0,21	0,31	0,19	0,12	0,19	2,70	2,00	1,63	0,40	0,66	0,90	0,24	27	22	26	20,0±0,1	27	23	22	14	2,4			35Г
N II		Глина, темно-сіра, тверда	0,20	0,45	0,21	0,24	-0,04	2,68	2,05	1,70	0,38	0,61	0,91	0,22	25	45	7	20,5±0,3	25	21	45	30	3,8			8Д

Рис. 3. Зведена інженерно-геологічна колонка з таблицею нормативних та розрахункових значень показників властивостей ґрунтів

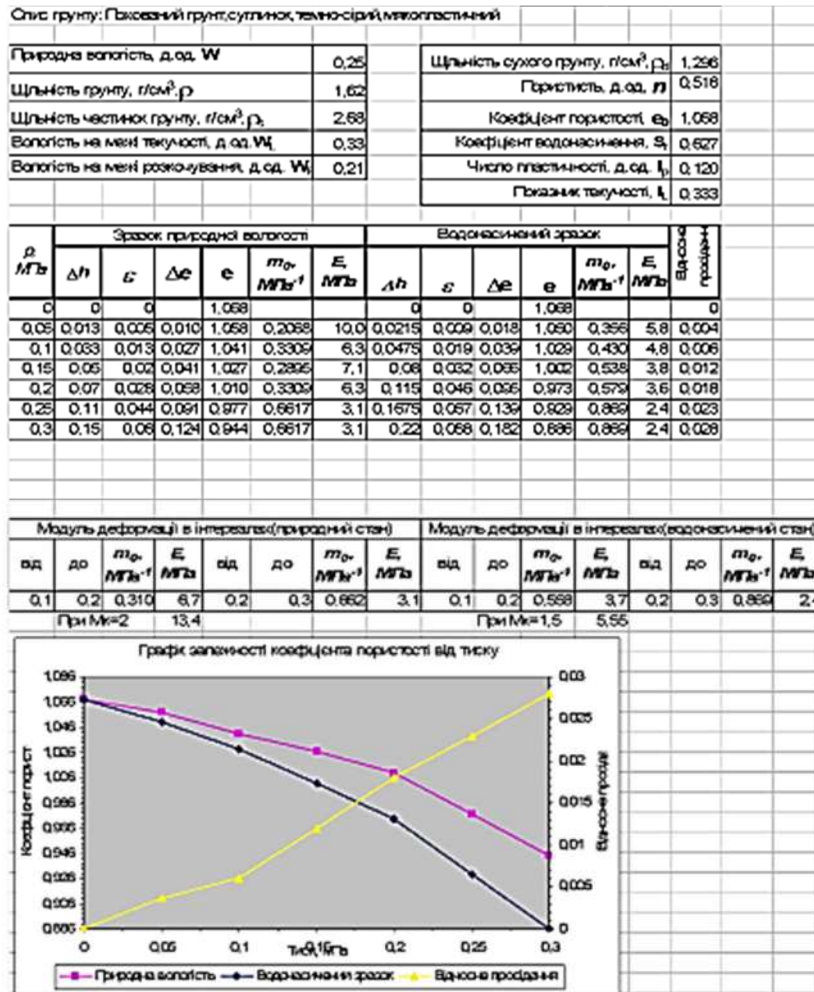


Рис. 4. Паспорт лабораторних досліджень – випробування ґрунту методом компресійного стиску

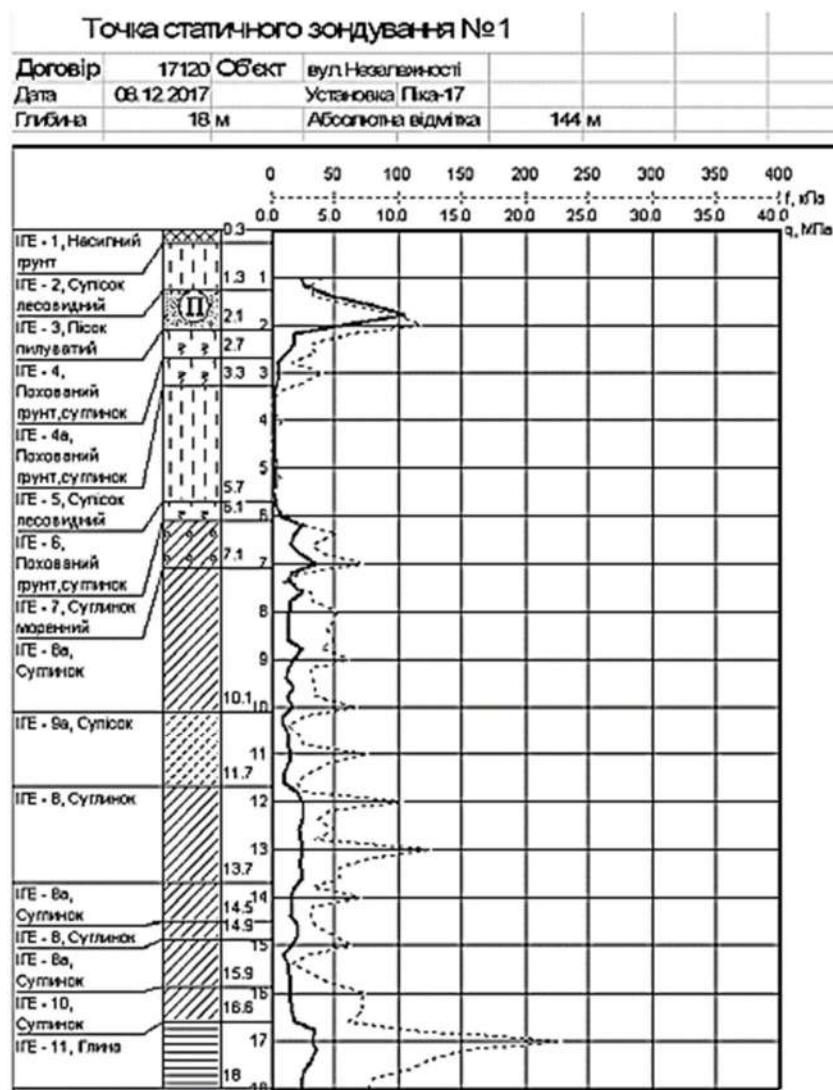


Рис. 5. Діаграма статичного зондування в точці № 1

У геологічній будові ділянки до розвіданої до глибини 20 м беруть участь сучасні техногенні відклади товщиною до 0,3 м, які представлені насипними ґрунтами (ІГЕ 1) нерівномірної щільності з вмістом будівельного сміття; верхньочетвертинними еолово-делювіальними супісками (ІГЕ 2) (верства II), та пилюватими пісками (ІГЕ 3) (верства III) причорноморського горизонту; елювіальними ґрунтами дафінівського горизонту (ІГЕ 4), (ІГЕ 4а) (верства IV); еолоделювіальними ґрунтами бузького горизонту (ІГЕ 5) (верства V); елювіальними відкладами прилуцького горизонту (ІГЕ 6) (верства VI); середньочетвертинними моренними флювіогляціальними суглинками (ІГЕ 7) (верства VII) дніпровського горизонту м'якопластичної та текучопластичної консистенції (ІГЕ 8 та 8а) (верства VIII); супісками пластичними (ІГЕ 9) та текучими (ІГЕ 9а) (верства IX); озерно-льодовиковими важкими суглинками (ІГЕ 10) (верства X), глинами неогену (ІГЕ 11) (верства XI).

Виділення інженерно-геологічних елементів проведено згідно з [8; 9] та перевірено на підставі оцінки просторової змінності меж та числа пластичності, ступеня вологості і коефіцієнтів щільності, механічних властивостей, котрі були визначені в лабораторії, враховуючі результати раніше виконаних інженерно-геологічних робіт на прилеглих ділянках.

Виділені інженерно-геологічні елементи відповідають літологічним горизонтам.

Ґрунти ІГЕ 2,4-6 можуть просідати при додаткових навантаженнях. Вони поширені на всій досліджуваній площі.

Вивчені гідрологічні умови ділянки свідчать про наявність тут ґрунтових вод безнапірного типу на глибинах 3,0-3,5 м. Ділянка може підтоплюватися при значних атмосферних опадах, сніготаненні, коли вода може піднятися до глибини 1,4 м, витоках із гідроконструкцій. Водоупорними горизонтами, на яких формується «верховодка», є ґрунти ПГЕ 4,6,7. Потік ґрунтових вод направлений з північного заходу на південний схід. Згідно з [10] та посібника до нього вода для всіх марок бетонів, цементів і арматури залізобетонних конструкцій неагресивна. Тип ґрунтових вод гідрокарбонатний кальцієвий. Його зміни можливі за рахунок витоків із каналізації. Про це свідчить охристо-ржаве забарвлення ґрунтів ПГЕ 2,3 і практика будівництва сусідніх споруд, де запроєктовано дренаж, який рекомендується і на дослідженій ділянці.

Під час забудови, асфальтування ділянки суттєво зменшиться природне випаровування, яке складається близько 520 мм. Через це зросте вологість, що призведе до підвищення рівня ґрунтових вод, зумовить зміну консистенції глинистих ґрунтів, знизить їх механічні властивості, почнуться просідні процеси.

За класифікацією [3] проведено оцінювання категорій складності інженерно-геологічних умов ділянки вишукувань. Згідно з цим оцінюванням за геоморфологічними ознаками ділянка віднесена до I категорії складності, за геологічною будовою до III категорії, за гідрологічними умовами до I категорії, за наявністю сучасних фізико-геологічних процесів до II категорії, за наявністю специфічних ґрунтів до II категорії.

Загалом досліджена площа відноситься до II категорії за складністю інженерно-геологічних умов.

Висновки відповідно до статті. Результати виконаних досліджень свідчать про те, що товща розкритих ґрунтів неоднорідна в розрізі та на площі.

1. Ґрунти ПГЕ -2,4-6 просідні при додаткових навантаженнях.
2. Ґрунтові води, які встановлені на глибині 3-3,5 м при рясних опадах і таненні снігу можуть піднятися до глибини 1,4 м.
3. Ділянка підтоплювана, тому потрібно передбачити водовідведення та гідроізоляцію фундаментів та підвалів, регулювання поверхневого стоку.
4. Вода до всіх марок бетонів, цементів і арматури залізобетонних конструкцій неагресивна.

Список використаних джерел

1. Іванишин В. А., Бугай В. Г. Інженерно-геологічні дослідження ділянки (мікрорайон «Масани» в Чернігові) між вулицями Красносільського та Глібова під будівництво багатопверхових житлових будинків. *Технічні науки та технології* : науковий журнал. 2019. № 2(16). С. 203–216.
2. ДСТУ Б В.2-1-9-2002 Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. [Чинний від 2001-05-30]. Київ : Держбуд, 2002. 24 с. (Державний стандарт України).
3. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва. [Чинний від 2008-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 72 с. (Державні будівельні норми України).
4. ДСТУ Б В.2.1-21-2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Визначення щільності ґрунтів методом заміщення об'єму [Чинний від 2010-10-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 12 с. (Державний стандарт України).
5. ДСТУ Б В.2.1-3-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення [Чинний від 1997-01-01]. Київ : Держкоммістобудування, 1997. 34 с. (Державний стандарт України).
6. ДСТУ Б В.2.1-4-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості [Чинний від 1997-04-01]. Київ : Держкоммістобудування, 1997. 107 с. (Державний стандарт України).

7. ДСТУ ISO 5667-11:2005 Якість води. Відбирання проб. Частина 11. Настанови щодо відбирання проб підземних вод. [Чинний від 2006-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. 16 с. (Державний стандарт України).

8. ДСТУ Б В.2.1-5-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань [Чинний від 1997-04-01]. Київ : Держкоммістобудування, 1997. 24 с. (Державний стандарт України).

9. ДСТУ Б. В. 2.1-2-96 Основи та підвалини будинків і споруд . Ґрунти. Класифікація [Чинний від 1997-04-01]. Київ : Держкоммістобудування, 1997. 47 с. (Державний стандарт України).

10. СНиП 2.03.11-85. Захист будівельних конструкцій від корозії. [Чинний від 1986-01-01]. Київ, 1985. 56 с. (Будівельні норми і правила).

References

1. Ivanyshyn, V. A., Buhai, V. H. (2019). Inzhenerno-geologichni doslidzhennia dilianky (mikroraiion «Masany» v Chernihovi) mizh vulytsiamy Krasnosil'skoho ta Hlibova pid budivnytstvo bahatopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv [Engineering-geological researches of the site (microdistrict "masany" in chernihiv) between the krasnoselsky and glebov streets for the construction of multi-storey residential buildings]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 2(16), pp. 203–216.

2. Derzhbud [State Construction]. (2002). *Grunty. Metody polovykh vyprobuvan statychnym i dynamichnym zonduvanniam [Soils. Methods of field tests by static and dynamic sounding]* (DSTU B V.2-1-9-2002). State standard of Ukraine.

3. Minrehionbud [Ministry of Regional Development of Ukraine]. (2008). *Vyshukuvannia, proektuvannia i terytorialna diialnist. Vyshukuvannia. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva [Surveying, designing and territorial activity. Refinement. Engineering research for construction]* (DBN A.2.1-1-2008). State Building Standards of Ukraine.

4. Minrehionbud [Ministry of Regional Development of Ukraine]. (2009). *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Vyznachennia shchilnosti hruntiv metodom zamishchennia ob'emu [Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Determination of soil density by volume substitution]* (DSTU B V.2.1-21-2009). State standard of Ukraine.

5. Derzhkommistobuduvannia [State Committee for Urban Development] (1997). *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Laboratorni vyprobuvannia. Zahalni polozhennia [Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Laboratory tests. General provisions]* (DSTU B V.2.1-3-96). State standard of Ukraine.

6. Derzhkommistobuduvannia [State Committee for Urban Development]. (1997). *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti i deformovanosti [Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformation characteristics]* (DSTU B V.2.1-4-96). State standard of Ukraine.

7. Minrehionbud [Ministry of Regional Development of Ukraine]. (2006). *Yakist vody. Vidbyrannia prob. Chastyna 11. Nastanovy shchodo vidbyrannia prob pidzemnykh vod [Water quality. Sampling. Part 11. Guidelines for groundwater sampling]* (DSTU ISO 5667-11:2005). State standard of Ukraine.

8. Derzhkommistobuduvannia [State Committee for Urban Development]. (1997). *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Hrunty. Metody statystychnoi obrobky rezultativ vyprobuvan [Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of statistical processing of test results]* (DSTU B V. 2.1-5-96). State standard of Ukraine.

9. Derzhkommistobuduvannia [State Committee for Urban Development]. (1997). *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Klyasyfikatsiia [Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Classification]* (DSTU B. V. 2.1-2-96). State standard of Ukraine.

10. Zakhyst budivelnykh konstruktzii vid korozii [Corrosion protection of building structures]. (1985) (SNIP 2.03.11-85).

UDC 624.057(477.51)

Volodymyr Ivanyshyn, Viktor Buhay, Mykola Korzachenko

**FIELD-BASED ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION
FOR THE CONSTRUCTION OF TEN-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS
ON NEZAVISIMOSTI STREET IN CHERNIHIV**

Urgency of the research. The building construction should not begin without engineering geological investigation (research) on the areas, allocated for the construction of buildings and structures. In this regard, such researches are always relevant.

Target setting. Almost the whole territory of Chernihiv and Chernihiv region is covered with the quaternary sediments, which have different thicknesses and lithological composition, and it is considered a negative factor in the construction of various construction projects. Because of that, each construction site (area) needs to study its geological and hydrogeological conditions in details.

Actual scientific researches and issues analysis. Recent open access publications have been reviewed.

Uninvestigated parts of general matters defining. Picture of distribution, thickness and lithology of Quaternary sediments is a general complex insufficiently solved problem for Chernihiv region.

The research objective. Study of the geological structure and the hydrogeological conditions in the area for the construction of three ten-story residential buildings on Nezalezhnosti Street in Chernihiv.

The statement of basic materials. According to the geomorphology, the studied area is located on the Chernihiv-Gorodnyansky Moraine-outwash plain coast near the water-divide part of the Stryzhen and the Belous rivers. According to tectonic zoning, it belongs to the axial zone of the north-western part of the Dnieper-Donetsk depression. In the geological sections, based on the results of processing materials in drilling and cone penetrometer test, 11 engineering and geological elements (EGE) were identified. The geologic cross-section up to a depth of 20 m is composed of modern technological, upper- and middle-quaternary sediments. The hydrogeological conditions of the area are determined by the ground water of a non-pressure type that is located at a depth of 3-3.5 m in general; moreover, the area belongs to Category II in terms of the complexity of engineering and geological conditions.

Conclusions. Based on the surveys performed, it was found that the soil thickness on the area is heterogeneous, that is confirmed by the allocation of 11 engineering and geological elements in it. EGE 2,3-6 soils are subsidence under additional loads. The ground water is non-aggressive to all grades of concrete, cement, and reinforced concrete structures.

Keywords: sediments; soils; horizons; engineering and geological elements; borehole; cone penetrometer test; ground water.
Fig.: 5. **References:** 10.

Іванишин Володимир Андрійович – доктор геологічних наук, професор, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Ivanyshyn Volodymyr – Doctor of Geological Sciences, Professor, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gkz.kaf@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2394-1837>

Бугай Віктор Григорович – начальник відділу, ТОВ «Чернігівбудрозвідання» (просп. Миру, 233а, м. Чернігів, 14006, Україна)

Buhay Viktor – Head of Department, Ltd. «Chernihivbudrozviduvannya» (223a Myru Av., 14006 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: 691040@ukr.net

Корзаченко Микола Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури та дизайну середовища, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Korzachenko Mykola – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Architecture and Environmental Design, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: korzachenko_87@meta.ua

ResearcherID: F-5177-2016

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5674-8662>

УДК 528.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-230-237

Сергій Крячок

**МОНІТОРИНГ МІСЦЕВОСТІ ТА ВИСОТНИХ ПЕРЕШКОД
У РАЙОНАХ АЕРОПОРТУ**

Актуальність теми дослідження. На сьогодні в Україні введено нові авіаційні правила, які стосуються обслуговування аеронавігаційною інформацією. Правила враховують законодавство Європейського Союзу, документи Євроконтролю, Стандарти ІКАО стосовно точності, опрацювання та використання аеронавігаційних даних, складовими яких є дані про місцевість і перешкоди в районах аеропортів.

Постановка проблеми. Одним із чинників, що впливають на безпеку польотів цивільної авіації, є врахування перешкод на трасах перельотів у вигляді підвищень рельєфу та висотних об'єктів. Про це свідчать аварії та катастрофи повітряних суден, спричинені зіткненням із висотними перешкодами. Тому необхідно проводити моніторинг наземного простору в районах аеропорту для своєчасного виявлення перешкод для актуалізації електронної бази даних щодо місцевості та перешкод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені існуючим методам збирання геопросторових даних щодо визначення рельєфу місцевості та перешкод у районах аеропорту.

Виділення не досліджених частин загальної проблеми. Аналіз наведених джерел дозволяє зробити висновок, що стосовно району І аеропорту, який є територія держави, наведена суперечлива інформація щодо використання того чи іншого методу визначення рельєфу місцевості та перешкод.

Мета статті. Головною метою статті є аналіз методів моніторингу просторової інформації щодо місцевості та перешкод у районі І аеропорту з використанням радіолокаційних систем космічного базування, які б задовольняли вимоги ІКАО в цьому районі щодо ведення електронної бази даних про місцевість та перешкоди.

Виклад основного матеріалу. Наведено кількісні вимоги ІКАО щодо даних про місцевість та перешкоди в районі І аеропорту. Розглянуто похибки результатів супутникового радіолокаційного топографічного знімання (Shuttle radar topographic mission (SRTM), яке дозволило отримати цифрову модель рельєфу Землі. Похибки для території Євразії – де знаходиться Україна, склали 8,8 м у плані та 6,2 по висоті та мали роздільну здатність у вертикальній площині 1 м, а у горизонтальній площині – 30 м. Метод Permanent Scatterer SAR Interferometry PSInSAR – інтерферометрії стійких відбивачів із використанням радіолокаторів із синтезованою апертурою космічного базування дозволяє отримати точність стійких відбивачів (природних та техногенних об'єктів) у вертикальній площині близько 1 м та похибка визначення висот інших об'єктів місцевості складає 14 м. Нині методика PSInSAR застосовують для моніторингу осідання земної поверхні в містах, що дозволяє визначити деформації земної поверхні з точністю до міліметрів. Угрупування супутників ДЗЗ: TerraSAR-X і TanDEM-X забезпечило глобальне покриття земної поверхні цифровою моделлю рельєфу з точністю за висотою не менше ніж 2 м. Просторове розрізнення становило близько 1 м. У 2020 році було виведено на навколосезну орбіту супутник із синтезованою апертурою радіолокаційного знімання Capella-2. Цей унікальний мікро супутник має масу 107 кг. Його знімальна апаратура має наразі надвисоку просторову роздільну здатність 50×50 см.

Висновки відповідно до статті. Сучасні методи супутникового радіолокаційного знімання дозволяють визначити планове та висотне положення об'єктів місцевості в районі аеропорту І (територія держави) з точністю та роздільною здатністю, яка відповідає вимогам ІКАО щодо ведення електронної бази даних про місцевість та перешкоди. Пропонується виконувати першу фазу моніторингу об'єктів місцевості на території держави за допомогою супутникового радіолокаційного знімання, а на другій фазі моніторингу залучати наземне обстеження – для уточнення атрибутивної інформації щодо об'єктів, виявлених на першій фазі.

Ключові слова: аеропорти; вимоги ІКАО; місцевість; перешкоди; радіолокаційні супутникові методи знімання.
Табл.: 1. Рис.: 5. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Нині в Україні введено нові авіаційні правила, які стосуються обслуговування аеронавігаційною інформацією [1]. Правила враховують законодавств Європейського Союзу, документи Євроконтролю, Стандарти ІКАО (Міжнародної організації цивільної авіації) стосовно точності, цілісності, опрацювання та використання аеронавігаційних, складовими яких є дані стосовно місцевості та перешкод у районах аеропортів.

Постановка проблеми. Одним із чинників безпеки польотів цивільної авіації є врахування на трасах перельотів підвищень рельєфу та висотних об'єктів. Так, 9 грудня 2007 року поблизу аеропорту Жуляни (Україна) розбився літак Beechcraft King Air C90B. Причиною катастрофи стало зіткнення справного літака з висотною перешкодою, а в подальшому – із землею поверхнею. Пасажирів та члени екіпажу загинули [2]. 24 березня 2015 року літак А320 авіакомпанії Germanwings, що летів маршрутом Барселона – Дюссельдорф, зазнав аварії в районі вкрай важкодоступного гірського масиву Труа-Евеше в Альпах Верхнього Провансу (Франція) [3].

З 1 січня 2020 року в Україні набрали чинності нові будівельні норми [4]. Цей нормативний документ застосовують для проєктування та будівництва висотних житлових споруд висотою до 100 м включно та громадських будівель висотою до 150 м включно та є дозвільним нормативним документом для висотного будівництва.

У таких умовах необхідно проводити моніторинг наземного простору в районах аеропорту для своєчасного виявлення перешкод та актуалізації електронної бази даних стосовно місцевості та перешкод у районах аеропорту [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У документі [6] ICAO наведено методи визначення рельєфу місцевості та перешкод у ближніх районах аеропорту. До них належать наземні геодезичні методи: прямі кутові засічки, прокладання теодолітних ходів, трикутників триангуляції – для визначення планового положення перешкод; геометричне та тригонометричне нівелювання – для визначення висот точок місцевості та перешкод. Застосовується також наземне фотограмметричне знімання та аерофотознімання. Крім того, добувати необхідну інформацію можна з існуючих топографічних карт місцевості у масштабах: 1:2500, 1:5000, 1:10000. Картографічний матеріал повинен коригуватись і періодично оновлюватись.

У дослідженні [7] рекомендовано виконувати технологію IFSAR (Interferometry Synthetic aperture radar) радіолокаційних інтерферометричних систем із синтезованою апертурою повітряного базування для створення цифрової моделі місцевості та наземного знімання – для виявлення перешкод у районі 1 аеропорту, яким є територія держави. Як носії знімальної апаратури використовуються літаки або гелікоптери. Стосовно застосування радіолокаційних знімальних систем космічного базування на час проведення дослідження не було виявлено достовірної інформації у відкритих джерелах [7].

У роботі [8] детально викладено інформацію стосовно відомих методів збирання геопросторових даних. У районі 1 дані про перешкоди надаються щодо перешкод заввишки більше 100 м над поверхнею землі [5; 9].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз наведених джерел дозволяє зробити висновок, що стосовно району 1 аеропорту, яким є територія держави, наведено суперечлива інформація щодо використання того чи іншого методу визначення рельєфу місцевості та перешкод.

Мета статті. Головною метою статті є аналіз методів моніторингу просторової інформації щодо місцевості та перешкод у районі 1 аеропорту з використанням радіолокаційних систем космічного базування, які б задовольняли вимоги ІКАО в районі 1 аеропорту.

Виклад основного матеріалу. Згідно з нормативним документом ІКАО [5] кількісні вимоги стосовно даних про місцевість та перешкоди в районі 1 аеропорту мають характеристики, наведені в таблиці.

Таблиця

Кількісні вимоги щодо даних про місцевість та перешкоди в районі 1

Інтервал між постами (для даних про місцевість)	Похибка у вертикальній площині	Роздільна здатність у вертикальній площині	Похибка у горизонтальній площині	Довірча ймовірність
3 с дуги (90 м)	30 м	1 м	50 м	90 %

Примітка. Період оновлення даних – за необхідності.

Під місцевістю розуміють «поверхню Землі з такими природними елементами, як гори, горби, хребти, долини, води, вічний лід, сніг, за виключенням перешкод» [5].

Перешкодами вважаються всі нерухомі (постійні або тимчасові) і рухомі об'єкти або частина їх, що: розташовані в зоні, яка призначена для руху повітряних суден по поверхні; або піднімаються над визначеною поверхнею, що призначена для забезпечення безпеки повітряних суден в польоті; або перебувають за межами цих визначених поверхонь і розцінюються, як такі, що небезпечні для повітряної навігації [5; 9].

Користуючись даними таблиці щодо точності та роздільної здатності, можна виконати підбір методів знімання місцевості та перешкод у районі 1 аеропорту.

Нині радіолокаційні знімання виконують із носіїв за допомогою радіолокаційних систем із синтезованою апертурою (Synthetic Aperture Radar) з використанням методу інтерферометрії, що дозволяє отримати дані про рельєф місцевості на великих територіях. Перевагами радіолокаційного знімання є можливість отримання зображень в умовах, коли об'єкти закриті хмарами, туманом, димовими завісами тощо та в будь-який час доби [8].

Так, було виконане радіолокаційне топографічне знімання більшої частини території земної кулі, за винятком самих північних, найбільш південних широт, а також океанів (рис. 1) [10].

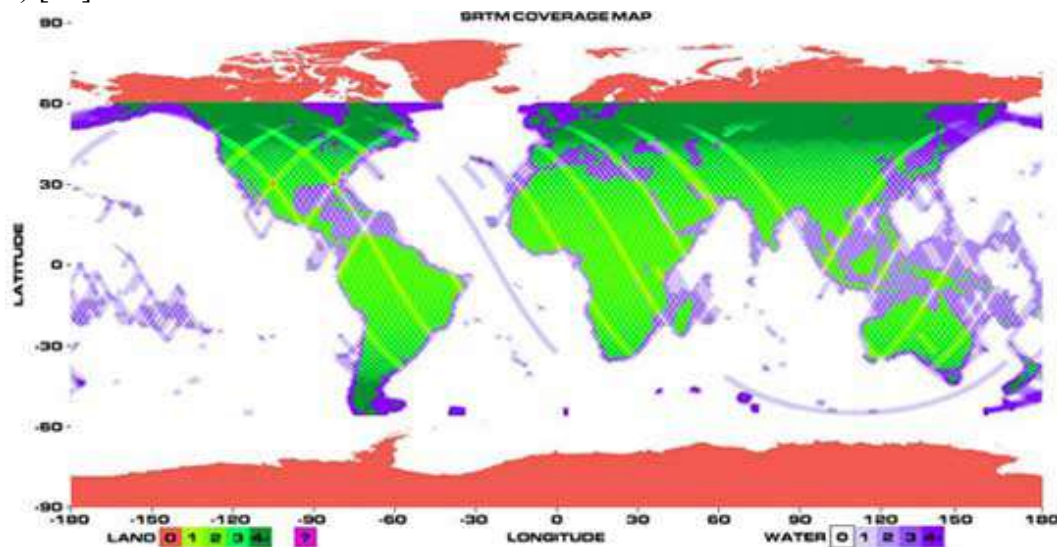


Рис. 1. Схема покриття зніманням SRTM поверхні Землі (позначення: Land 0-1-2-3-4; Water 0-1-2-3-4 сповіщають про кількість зніманих ділянок земної чи водної поверхні)

Знімання тривало 11 днів у лютому 2000 р. та застосовувалась спеціальна радарна система, яка базувалась на космічному кораблі Space Shuttle. Двома радіолокаційними сенсорами SIR-C (Space borne Imaging Radar) і X-SAR (Synthetic Aperture Radar) - радарми із синтезованою апертурою космічного базування, які працюють у діапазонах радіохвиль 15-7,5 см (C) та 7,5-3,8 см (X) [10], було зібрано понад 12 терабайт даних про рельєф Землі. Місія дістала назву супутникового радіолокаційного топографічного знімання (Shuttle radar topographic mission (SRTM)) У підсумку була отримана цифрова модель рельєфу Землі. Точність цієї моделі коливалась залежно від території знімання. Так, найменша абсолютна похибка в плані становила 7,2 м – для території Австралії, а максимальна абсолютна похибка 12,6 м – для території Північної Америки. Максимальна абсолютна похибка по висоті дорівнювала 9 м для території Північної Америки, а мінімальна 5,6 м – для території Африки. Для території Євразії – де знаходиться Україна, такі похибки становили 8,8 м у плані та 6,2 м по висоті. Роздільна здатність у вертикальній площині становила 1 м, а роздільна здатність у горизонтальній площині – 30 м [10].

Різновидом радіолокаційної інтерферометрії є метод інтерферометрії стійких відбивачів з використанням радарів з синтезованою апертурою космічного базування (Permanent Scatterer SAR Interferometry – PSInSAR). У цьому методі як точкові стійкі відбивачі (pointwise permanent scatterers) використовуються споруди, будівлі, металеві предмети, пілони, антени, відкриті гірські породи (рис. 2), які мають високу відбивну здатність до радіохвиль і слугують стійкими відбивачами радіолокаційного сигналу впродовж сеансів спостережень, які періодично повторюються [11].

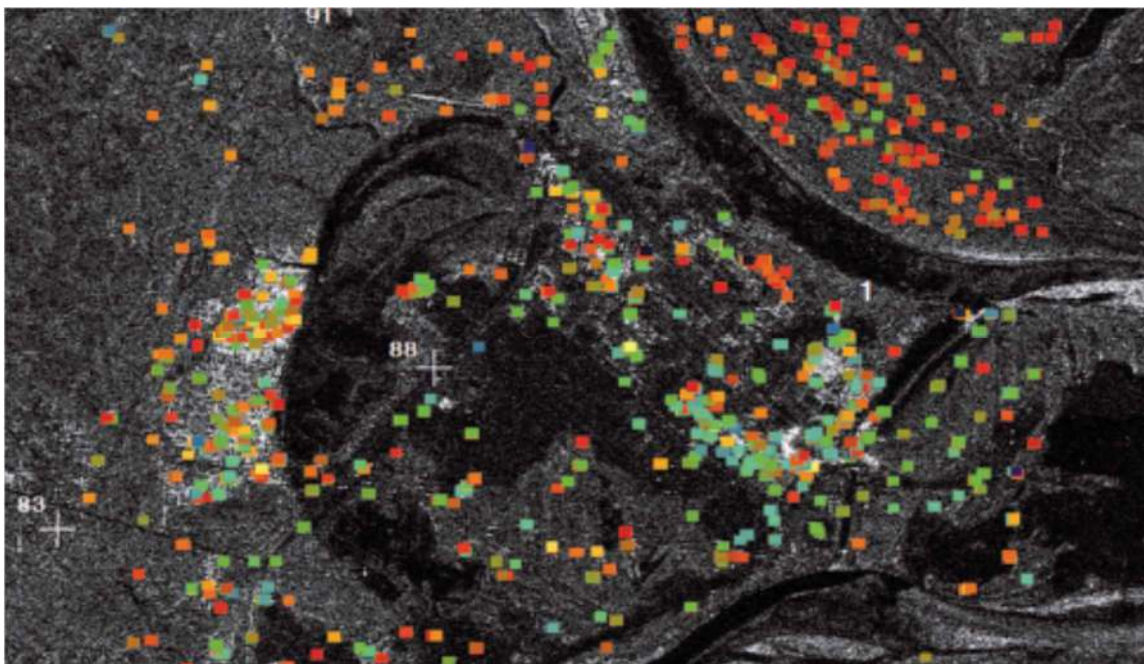


Рис. 2. Відображення природних і техногенних постійних відбивачів у вигляді прямокутників 1 на радіолокаційному знімку

У результаті використовують багато зображень, мінімум 20–25 знімків, що охоплюють ту саму територію, що підвищує точність визначень. Похибки в зображенні об'єктів місцевості за рахунок дії атмосфери та орбітальні похибки практично усунені [10]. Вказаним методом досягається точність стійких відбивачів у вертикальній площині близько 1 м [11], а похибка визначення висот інших об'єктів місцевості згідно з дослідженнями, наведеними у джерелі [12], становить 14 м. Нині методику PSInSAR застосовують для моніторингу осідання земної поверхні в містах, що дозволяє визначати деформації поверхні з точністю до міліметрів [11,12].

Відоме використання угруповання супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (рис. 3).



Рис. 3. Угрупування супутників ДЗЗ: TerraSAR-X і TanDEM-X

Так, сумісне використання супутника TerraSAR-X з радаром зі синтезованою апертурою, запущеного 15 червня 2007 року, та супутника TanDEM-X, запущеного 21 червня 2010 року, дозволяє виконувати високоточну інтерферометрію сантиметровою точністю – для визначення осідань та розломів земної поверхні та забезпечити глобальне покриття земної поверхні високоточною цифровою моделлю рельєфу з точністю за висотою не менше 2 м. Просторове розрізнення становило близько 1 м [13; 14].

У 2020 році було виведено на навколосеземну орбіту супутник із синтезованою апертурою Capella-2 (рис. 4) [15].



Рис. 4. Супутник з синтезованою апертурою Capella-2 на навколосеземній орбіті

Цей унікальний мікро супутник має масу 107 кг. Крім того, його знімальна апаратура має надвисоку просторову роздільну здатність 50×50 см. Це досягається електронним управлінням антеною з метою затримки експозиції місцевості до 60 секунд, у той час як попередні версії супутників могли мати експозицію того ж самого району поверхні Землі на протязі кількох секунд. За рахунок тривалої в часі витримки підвищується точність інтерпретації та аналізу даних. Такий режим знімання носить названу «прожектор» (Spotlight). Смуга пропускання зображення збільшена до 500 МГц, у порівнянні з аналогами, які мають обмеження до 300 МГц [15].

На рис. 5 показано розташування літаків в Центрі авіації Розуела в Нью-Мексичі, яке отримано від супутника Capella-2. Видно літаки та їхні тіні, які розкривають такі незначні деталі, як розміри кабіни екіпажу, двигуни [15].



Рис. 5. Радіолокаційне зображення Центра авіації Розуела в Нью-Мексичі

З наведених джерел стає зрозумілим, що якість технології радіолокаційного знімання невпинно покращується в напрямку підвищення точності та роздільної здатності зображень, які відповідають наразі точності та роздільній здатності, які висуваються вимогами

ІКАО стосовно ведення електронної бази даних місцевості та перешкод в межах всієї держави – району 1 аеропорту. Такі особливості радіолокаційного знімання, як можливість отримання зображень в умовах, коли об'єкти закриті хмарами, туманом, димовими завісами тощо в будь-який час доби роблять його важливим інструментом моніторингу місцевості та перешкод.

Недоліком радіолокаційного знімання є затінення зображень нижчих елементів місцевості вищими.

Крім того, для ведення електронної бази даних місцевості та перешкод необхідно мати і атрибутивну інформацію про них [5]. Частина такої інформації можна отримати тільки наземними обстеженнями.

Тому пропонується розділити моніторинг району 1 аеропорту на дві складові: первинний та вторинний. Первинний моніторинг вести з використанням супутникових радіолокаційних методів, які забезпечують відповідну точність і роздільну здатність та допомагають виявити небезпечні для авіаційного руху об'єкти місцевості та вторинний, з використанням наземних методів обстеження – для уточнення атрибутивних даних про ці об'єкти.

Висновки відповідно до статті. Сучасні методи супутникового радіолокаційного знімання дозволяють визначити планове та висотне положення об'єктів місцевості в районі аеропорту 1 (територія держави) з точністю та роздільною здатністю, яка відповідає вимогам ІКАО щодо ведення електронної бази даних про місцевість та перешкоди. Пропонується виконувати першу фазу моніторингу об'єктів місцевості на території держави за допомогою супутникового радіолокаційного знімання, а на другій фазі моніторингу залучати наземне обстеження – для уточнення атрибутивної інформації щодо об'єктів, виявлених на першій фазі.

Список використаних джерел

1. Про затвердження Авіаційних правил України «Обслуговування аеронавігаційною інформацією»: Наказ Державної авіаційної служби України від 13.05.2019 № 582. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0760-19#Text>.
2. Материали расследования – AirDisaster.ru. URL: <http://www.airdisaster.ru/reports.php?id=37>.
3. Статистика крупнейших авиакатастроф мира 1974-2020. URL: <https://forinsurer.com/public/17/01/10/3824>.
4. ДБН В.2.2-41:2019 «Висотні будівлі. Основні положення». Наказ від 26.03.2019 № 86. URL: <https://ua-expert.com/ua/news/eksperti-edsu>.
5. Службы аэронавигационной информации. Приложение 15 к Конвенции о международной гражданской авиации. Международная организация гражданской авиации. Издание четырнадцатое. Июль 2013 года. http://www.vip-class.ru/userfiles/file/biblioteka/attach_15.pdf.
6. Руководство по аэродромным службам. (Doc 9137 AN/898/2) Часть 6. Контролирующие функции. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293835/4293835988.pdf>.
7. Understanding ICAO ETOD requirements. URL: <http://galileo.cs.telespazio.it/medusa/Data%20check%20list%20&%20eTOD%20study/eTOD%20st>.
8. Карпінський Ю., Лазаренко-Гевель Н. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Львів, 2018. № 35 (1). С. 204–211.
9. Крячок С., Бойко О., Мамонтова Л. Врахування вимог ІКАО стосовно місцевості та перешкод в районах аеропорту для їх картографування та використання у геоінформаційних системах. *Технічні науки та технології*. 2020. № 3(21). С. 301–309.
10. Shuttle radar topographic mission (SRTM). URL: <https://gis-lab.info/qa/srtm.html>.
11. Филатов А. В., Евтюшкин А. В., Васильев Ю. В. Определение смещений техногенных объектов на территории нефтяных месторождений методом радарной интерферометрии. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Москва, 2011. № 8, т. 14. С. 157–165.

12. Филатов А. В. Оценка вертикальных и горизонтальных смещений хвостохранилища Кольской ГМК по данным спутниковой радиолокационной съемки. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Москва, 2017. № 7, т. 14. С. 77–85.

13. Лаврова О. Л., Митягина С. С., Каримова Т. Ю., Бочарова Т. Ю. Применение радиолокаторов RADARSAT-2 TerraSAR-X для исследования гидрологических процессов в океане. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Москва, 2012. № 2, т. 9. С. 312–323.

14. TerraSAR-X / TanDEM-X. URL: <https://innoter.com/sputniki/terrasar-x-tandem-x>.

15. Capella Unveils World's Highest Resolution Commercial SAR Imagery. URL: <https://www.capellaspace.com/capella-unveils-worlds-highest-resolution-commer>.

References

1. Pro zatverdzhennia Aviatsiinykh pravyl Ukrainy «Obsluhovuvannya aeronavihatsiynoyu informatsiyeu» [About the statement of Aviation rules of Ukraine «Service of the aeronautical information»]. (May 18, 2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0760-19#Text>.

2. *Materialy rassledovaniya [Investigation materials]*. <http://www.airdisaster.ru/reports.php?id=37>.

3. *Statistika krupneyshikh aviakatastrof mira 1974-2020 [Statistics of the largest plane crashes in the world 1974-2020]*. <https://forinsurer.com/public/17/01/10/3824>.

4. DBN V.2.2-41:2019 «Vysotni budivli. Osnovni polozhennia» [DBN B.2.2-41: 2019 «High-rise buildings. Substantive provisions»]. (March 26, 2019). <https://ua-expert.com/ua/news/eksperti-edsu/>.

5. Aeronautical information services. Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation. ICAO. (July 2013). http://www.vip-class.ru/userfiles/file/biblioteka/attach_15.pdf.

6. *Rukovodstvo po aerodromnym sluzhbam (Doc 9137 AN/898/2), chast 6. Kontrolnye prepyatstviya [Aerodrome Services Manual (Doc 9137 AN/898/2) Part 6. Control Obstacles]*. Retrieved from <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293835/4293835988.pdf>.

7. *Understanding ICAO ETOD requirements*. <http://galileo.cs.telespazio.it/medusa/Data%20check%20list%20&%20eTOD%20study/eTOD%20st>.

8. Karpinskyi, Yu., & Lazarenko-Hevel, N. (2018). Metody zbyrannia prymereniia prostorovykh danykh dlia topograficheskogo kartohrafirovaniia [Methods of collecting the use of spatial data for topographic mapping]. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoi nauky ta vyrobnystva – Modern achievements of geodetic science and production*, 35 (1), pp. 204–211.

9. Kriachok, S., Boiko, O., Mamontova, L. (2020). Vrakhuvannya vymoh IKAO stosovno mistsevosti ta pereshkod v rayonakh aeroportu dlia yikh kartohrafuvannya ta vykorystannia u heoinformatsiinykh systemakh [Taking into account ICAO requirements for terrain and obstacles in the areas of the airport for their mapping and use in geographic information systems]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, 3(21), pp. 301–309.

10. *Shuttle radar topographic mission (SRTM)*. Retrieved from <https://gis-lab.info/qa/srtm.html>.

11. Filatov, A. V., Yevtyushkin, A. V., Vasiliev, Yu. V. (2011). Opredelenie smeshchenii tekhnogennykh ob'ektov na territorii neftiannykh mestorozhdenii metodom radarnoi interferometrii [Determination of displacements of technogenic objects on the territory of oil fields by the method of radar interferometry]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 14(8), pp. 157–165.

12. Filatov, A. V. (2017). Otsenka vertikalnykh i gorizontalnykh smeshchenii khvostokhranilishcha Kolskoi GМК po dannym sputnikovoi radiolokatsionnoi siemki [Assessment of vertical and horizontal displacements of the Kola MMC tailing dump based on satellite radar survey data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 14(7), pp. 77–85.

13. Lavrova, O. L., Mityagina, S. S., Karimova, T. Yu., Bocharova T. Yu. (2012). Primenenie radiolokatorov RADARSAT-2 TerraSAR-X dlya issledovaniia gidrologicheskikh protsessov v okeane [Application of RADARSAT-2 TerraSAR-X radars to study hydrological processes in the ocean]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 9(2), pp. 312–323.

14. TerraSAR-X / TanDEM-X. <https://innoter.com/sputniki/terrasar-x-tandem-x>.

15. Capella Unveils World's Highest Resolution Commercial SAR Imagery. <https://www.capellaspace.com/capella-unveils-worlds-highest-resolution-commer>.

UDC 528.4

*Serhiy Kryachok***MONITORING OF TERRAIN AND HIGH-ALTITUDE OBSTACLES
IN AIRPORT AREAS**

The urgency of the research. At present, new aviation rules concerning the provision of air navigation information have been introduced in Ukraine. The rules take into account the legislation of the European Union, Eurocontrol documents, ICAO Standards on the accuracy, processing and use of aeronautical data, which include data on terrain and obstacles in the areas of airports.

Target setting. One of the factors influencing the safety of civil aviation is the consideration of obstacles on the routes in the form of elevations and high-altitude objects. This is evidenced by accidents and catastrophes of aircraft caused by collisions with high-altitude obstacles. Therefore, it is necessary to monitor the ground space in the areas of an airport for the timely detection of obstacles to the updating of the electronic database on terrain and obstacles.

Actual scientific researches and issues analysis. Recent open access publications on existing methods of collecting geospatial data to determine terrain and obstacles in areas of the airport were reviewed.

Uninvestigated parts of general matters defining. The analysis of the given sources allows to draw a conclusion that concerning area 1 of the airport which is the territory of the state, the contradictory information on use of this or that method of definition of a relief of district and obstacles is resulted.

The research objective. The main purpose of the article is to analyze the methods of monitoring spatial information on terrain and obstacles in area 1 of the airport using space-based radar systems that would meet the requirements of ICAO in this area for the maintenance of electronic databases of terrain and obstacles.

The statement of basic materials. The quantitative requirements of ICAO for data on terrain and obstacles in area 1 of the airport are given. The errors of the results of the satellite radar topographic survey (SRTM), which allowed to obtain a digital model of the Earth's topography, were resolution in the vertical plane 1 m, and in the horizontal plane - 30 m. The method of Permanent Scatterer SAR Interferometry PSInSAR - interferometry of stable reflectors using radars with synthesized space-based aperture allows to obtain the accuracy of stable reflectors (natural and man-made objects) in the vertical plane of about 1 m and the error in determining the heights of other objects is 14 m. Currently, the PSInSAR method is used to monitor the subsidence of the earth's surface in cities, which allows to determine the deformation of the earth's surface to the nearest millimeter. The grouping of remote sensing satellites TerraSAR-X and TanDEM-X provided global coverage of the earth's surface with a digital terrain model with an accuracy of at least 2 m in height. The spatial resolution was about 1 m. In 2020, a satellite with a synthesized aperture of the Capella-2 radar survey was launched into Earth orbit. This unique micro satellite weighs 107 kg. Its camera equipment currently has an ultra-high spatial resolution of 50 x 50 cm.

Conclusions. Modern methods of satellite radar can determine the planned and altitude position of objects in the area of airport 1 (territory of the state) with accuracy and resolution that meets the requirements of ICAO for the maintenance of an electronic database of terrain and obstacles. It is proposed to perform the first phase of monitoring objects in the country with the help of satellite radar, and in the second phase of monitoring to involve a ground survey - to clarify the attributive information about the objects detected in the first phase.

Keywords: airports, ICAO requirements, terrain, obstacles, radar satellite imaging methods.

Table: 1. Fig.: 5. References: 15.

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kryachok Serhiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: geodesist2015@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

ResearcherID: N-3061-2016

УДК 674.213

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-238-246

Сергій Бойко, Станіслав Іващенко, Андрій Єрошенко

**ВІДНОВЛЕННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ ПРИКРАС ФАСАДІВ СТАРОВИННИХ
БУДИНКІВ ЧЕРНІГОВА**

Актуальність теми дослідження. Підвищення продуктивності і рівня автоматизації процесу виготовлення і відновлення елементів дерев'яної архітектури за допомогою сучасного прогресивного обладнання є одним з ефективних шляхів відродження історичних об'єктів дерев'яної архітектури в сучасних умовах.

Постановка проблеми. Необхідність фізичного відновлення великої кількості елементів дерев'яного різьблення на фасадах історичних об'єктів потребує затрат ресурсів як матеріальних, так і людських. Тому розробка високо-технологічних способів відновлення дерев'яного різьблення на історичних фасадах будівель, які дозволяють зберегти ці ресурси, є актуальним завданням з погляду забезпечення високої ефективності процесів механічної обробки виробів із деревини та матеріалів на її основі.

Аналіз досліджень і публікацій. Дерев'яні різьблення на фасадах будинків раніше виготовлялись вручну майстром. Більшість існуючої літератури й зазначені в ній рекомендації належать до ручних методів виготовлення декору фасадів, але зважаючи на велику кількість повторюваних елементів, вони є непродуктивними.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині є значна кількість прикладів і пропозицій відновлення цегляних фасадів історичних будівель. Робота з дерев'яними фасадами оздобленими різьбленням має свої особливості, які висвітлені не повною мірою і потребують надання практичних рекомендацій з урахуванням технічних можливостей сучасного обладнання.

Метою статті є аналіз особливостей використання сучасного технологічного обладнання для виготовлення і відновлення елементів дерев'яної архітектури.

Виклад основного матеріалу. Розглянуто технологію виготовлення дерев'яних елементів декору фасадів будинків за допомогою сучасних систем автоматизованого проектування і верстатів з ЧПК. Проаналізовано вплив на характер обробки оброблюваних матеріалів, виду інструменту й режимів обробки.

Висновки відповідно до статті. У межах участі у некомерційному проєкті «Дерев'яне мереживо Чернігова» було вперше використано верстати з ЧПК і сучасні системи автоматизованого проектування для відновлення дерев'яної архітектури Чернігівщини. Проаналізовано вплив на характер обробки оброблюваних матеріалів, виду інструменту і режимів обробки.

Ключові слова: верстат з ЧПК; різьблення; дерев'яне домобудування; деревообробка; дерев'яне мереживо.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Відновлення дерев'яних елементів фасадів старовинних будинків – складний технологічний процес, який включає стадії ескізного проєкту, підготовки виробництва, обробки деревини, фінішні операції, фарбування, складання і монтаж конструкцій. Підвищення продуктивності й рівня автоматизації процесу виготовлення та відновлення елементів дерев'яної архітектури за допомогою сучасного прогресивного обладнання є одним з ефективних шляхів відродження історичних об'єктів дерев'яної архітектури в сучасних умовах.

Постановка проблеми. Чернігівщина є одним з найбільш історичних і мальовничих куточків України. Одна з прикрас нашого регіону – це дерев'яна архітектура прикрашена різьбленням і дерев'яним мереживом. Кожен такий будинок має свою історію і значення в житті міста, але дерево є природним будівельним матеріалом і нажалі з часом, під дією різних факторів, втрачає форму, колір, структуру і руйнується. В місті діє волонтерська ініціатива «Дерев'яне мереживо Чернігова», яка є некомерційним проєктом, що покликаний зберегти дерев'яну архітектуру Чернігівщини та відродити любов та повагу людей до неї [1]. До початку співпраці «Дерев'яного мережива» з кафедрою технологій машинобудування та деревообробки НУ «Чернігівська політехніка» волонтери вирізали елементи дерев'яного оздоблення будинків вручну. Це хоча й відповідає традиціям дерев'яного різьблення, але є дуже складним і трудомістким процесом, а зважаючи на чисельність і геометричну складність елементів, які потребували заміни, такий підхід значно зменшував кількість об'єктів, які могли бути відновленими. З метою зменшення кількості ручної праці і підвищення продуктивності обробки виникла ідея використання сучасних технологій, зокрема фрезерного верстата з ЧПК, для відновлення історичних пам'яток.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині мало хто з особливою ретельністю вибирає елементи декору та візерунки, якими прикрашаються фасади будинків, замислюючись про їхнє призначення. Однак раніше кожен елемент візерунка мав своє смислове навантаження і служив для захисту будинку. Сьогодні, на допомогу майстрам дедалі частіше приходять сучасні технології і можливості промислового виробництва, дозволяючи отримувати шедеври й унікальні за красою фасади й будови. Як і раніше дерев'яні елементи декору з'являються на фасадах як результат копіткої праці талановитого майстра. Часто альтернативою є використання готових декоративних елементів, отриманих промисловим способом. Високоточне сучасне обладнання дозволяє отримувати унікальні вироби. При цьому можна отримувати вироби порівняно малої товщини, які складно отримати вручну через природну крихкість деревини. Більшість наявної літератури і зазначені в ній рекомендації належать до ручних методів виготовлення декору фасадів, але враховуючи велику кількість повторюваних елементів, вони є не продуктивні [2; 3; 4]. Кафедра технологій машинобудування та деревообробки НУ «Чернігівська політехніка» має досвід об'ємного фрезерування виробів складної форми, зокрема виробництва меблевих фасадів за допомогою сучасних САМ-систем на верстаті з ЧПК [11]. Пошук джерел і існуючих технологій вказує на відсутність достатньої кількості інформації і рекомендацій щодо використання сучасного деревообробного обладнання з метою відновлення різьблення і мережива дерев'яних фасадів будівель.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині є значна кількість прикладів і пропозицій відновлення цегляних фасадів історичних будівель. Робота з дерев'яними фасадами оздобленими різьбленням має свої особливості, які висвітлені не повною мірою і потребують надання практичних рекомендацій з урахуванням технічних можливостей сучасного обладнання.

Метою статті є аналіз особливостей використання сучасного технологічного обладнання для виготовлення і відновлення елементів дерев'яної архітектури.

Виклад основного матеріалу. У статті піде мова про технологію відновлення дерев'яного мережива на старовинних будинках міста Чернігова за допомогою сучасного деревообробного обладнання. Кафедра технологій машинобудування та деревообробки національного університету «Чернігівська політехніка» стала учасником некомерційного проєкту «Дерев'яне мереживо Чернігова». Нині виготовлено елементи декору для фасадів трьох історичних об'єктів, про технологію виготовлення яких і її особливості піде мова.

Найбільш поширені дерев'яні елементи, що зустрічаються на фасадах [5], у відновленні яких нам довелося брати участь, це:

- **підзор** – основний декоративний елемент, часто задає тон всій композиції. За визначенням, підзорами називаються широкі карнизи, що створюють візуальне розмежування між основною частиною і горищем. Це декоративна різьблена облямівка карнизів, лиштва і т. ін.;

- **рушник** – коротка дошка, прикрашена різьбленням, що закриває місце стику підзору. Прикрашався елемент зазвичай сонячними символами. Зазвичай на лицьовій частині будинку розташовувалися три рушники. Це символізувало рух сонця по небосхилу – схід, зеніт, захід;

- **сандрик** – ще один варіант віконного декору, це невеликий декоративний карниз, він так само може встановлюватися і над дверима, зокрема й у приміщенні, часто має трикутну або сферичну форму;

- **пілястра** – плаский вертикальний, прямокутний у плані виступ, на поверхні стіни, може мати як конструктивну, так і декоративну функції, найчастіше пілястри використовують як декор для оздоблення і ритмічного членування порожнього тла стіни, фасаду, дзвіниці тощо.

Перше з чого починається процес відновлення – це стадія ескізного проєкту. Оскільки дерев'яні елементи фасаду планується виготовляти за допомогою верстата з ЧПК, то результатом цього етапу має бути вектор, що стане основою для підготовки коду управляючої програми. Існує безліч джерел де можна знайти готові векторні малюнки мережива для завантаження і способи створення шаблонів для перенесення їх на заготовку в разі ручного виготовлення деталей [5; 6]. Але в нашому випадку йтиметься про конкретний малюнок мережива і про задачу його відновлення (рис. 1).

Для створення необхідного вектору з використанням сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР) достатньо фотографії пошкодженого елемента й габаритних розмірів, які дозволяють встановити відповідний масштаб об'єкту [7; 8]. Вектор будемо створювати за допомогою системи ArtCAM, яка має необхідний набір інструментів для відтворення втраченої частини орнаменту (рис. 1).



Рис. 1. Пошкоджений елемент і відтворений векторний малюнок за допомогою інструментів симетрії

Існує кілька способів створення вектору:

- перший, найшвидший, це функція автоматичного формування вектору на основі растрового малюнку з використанням основного кольору, але враховуючи пошкодження і відсутність частини орнаменту цей спосіб не є ефективним у цьому випадку;
- другий, нанесення кривих на межі орнаменту і копіювання за допомогою інструментів симетрії для відтворення пошкодженої частини. Цей спосіб у цьому випадку дозволяє відтворити втрачені елементи, використовуючи симетричні елементи, що збереглися (рис. 2).

Створений вектор має бути замкнений, не мати розривів, що є обов'язковою умовою його подальшого використання для підготовки управляючої програми для верстата з ЧПК.

У проєктах, що представлені в статті, вектори були створені очільником проєкту «Дерев'яне мереживо Чернігова» Станіславом Іващенко на основі обмірювання елементів фасадів, які потребували заміни.

Наступний етап – це підготовка виробництва, який включає вибір матеріалу заготовки, виробництво заготовок необхідних розмірів, програмування обробки на верстаті з ЧПК. У більшості рекомендацій стосовно вибору матеріалу для виробництва елементів фасаду будівель йдеться про хвойні породи (як більш стійкі до атмосферних впливів, за

рахунок наявності смоли) [5; 9]. До інших вимог слід також віднести відсутність дефектів, що ускладнюють роботу або псують виріб; надлишкову вологу, інакше при висиханні деревина жолобиться і тріскається. Але в нашому випадку йдеться про автоматизацію виробництва й обробку за допомогою фрез, частота обертання яких сягатиме $15000-18000 \text{ хв}^{-1}$ і наявність смоли хвойних порід стала фактором, що ускладнює процес обробки. Обробка здійснюється на верстаті з ЧПК і тому висока твердість деревини (дуб, граб, ясен і т. ін.) – це більше перевага, ніж недолік. А підвищити стійкість до атмосферних і біологічних впливів можна за допомогою засобів фінішної обробки. Породи деревини також різняться за механічними та технологічними властивостями. Однією з головних властивостей деревини є її міцність. Технологічні й механічні властивості деревини також пов'язані між собою [9]. Під час виробництва елементів різьблення для фасадів ми використовували різні породи деревини (рис. 2).

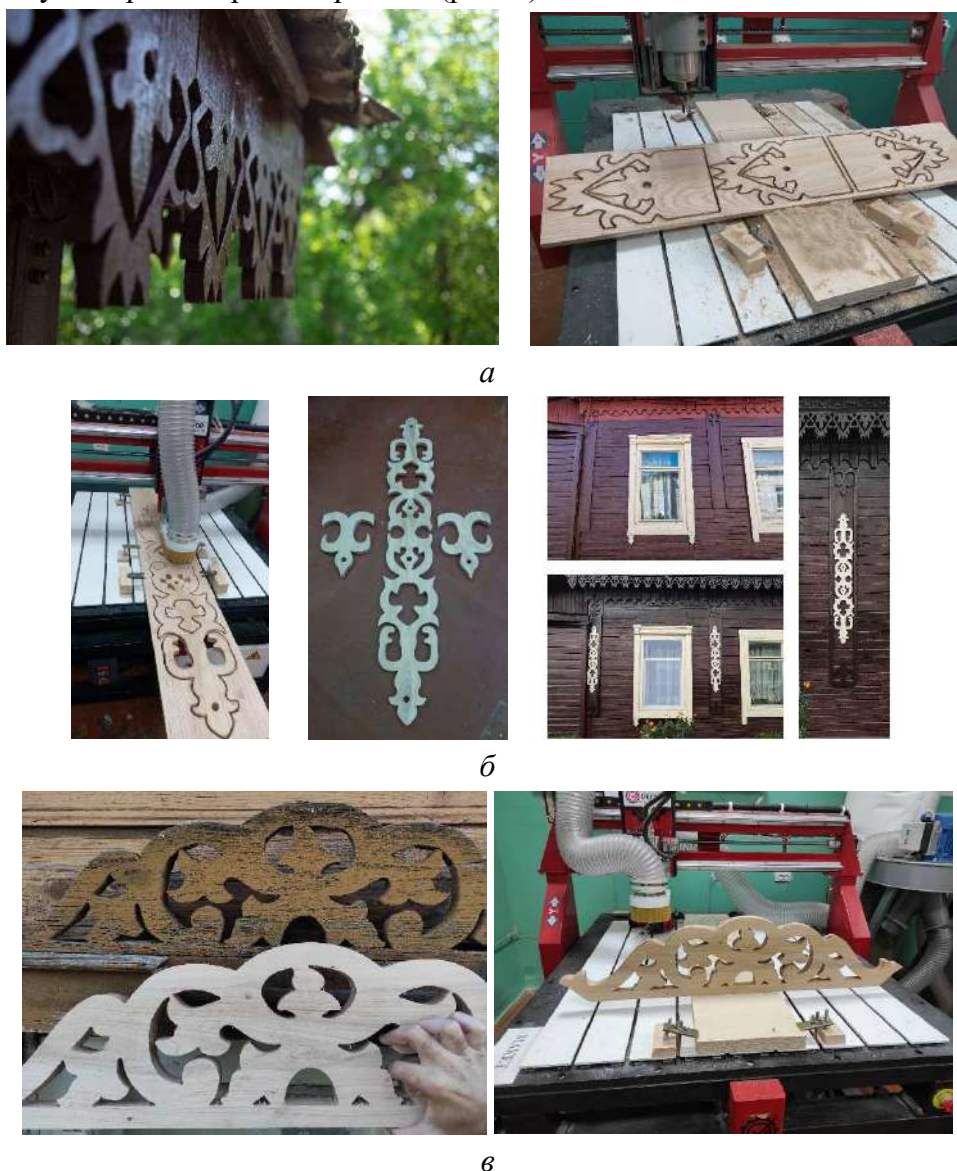


Рис. 2. Виготовлені елементи дерев'яного мережива:

а – елементи підзору, матеріал дуб (м. Чернігів, вул. Зелена, буд. 15); б – елементи пілястр, матеріал дуб (м. Чернігів, вул. Зелена, буд. 15); в – сандрик, матеріал дуб (м. Чернігів, вул. Успенська, буд. 34); г – елементи підзору, матеріал сосна (м. Чернігів, вул. Успенська, буд. 34); д, е – елементи рушника, матеріал сосна (с. Старий Білоус, Чернігівський район)



Рис. 2, аркуш 2

Обробка дерев'яних елементів відбувалась на фрезерному верстаті з ЧПК Vector 1210F, яким обладнана лабораторія кафедри. Верстат дозволяє виконувати 3D фрезерування, гравіювання, обробку по контуру.

Аналізуючи процес механічної обробки за допомогою верстату з ЧПК можна зробити висновки, що сосна досить смолиста, добре обробляється різальним інструментом при невисокій вологості. Сосна є доступним і досить поширеним видом деревини, з якої виготовляють меблі, але внаслідок механічних ушкоджень, на поверхні можуть утворитися вм'ятини, оскільки вона належить до м'яких порід. Наявність високого вмісту смоли викликає налипання на різальних кромках інструменту й забивання стружко-відвідних каналів смолою, як результат під час обробки відчувається підвищена вібрація в зоні різання, поява сколів і збільшення шорсткості обробленої поверхні.

Дуб, на відміну від сосни, надзвичайно міцна і тверда порода, тому під час його обробки різальний інструмент швидше втрачає стійкість і відбувається зношування різальних кромки, що супроводжується появою шуму і вібрації. Товщина заготовок коливалась від 25 до 35 мм залежно від виду елемента, що виготовляється.

Не менш важливим показником використовуваної для різьблення деревини є її вологість. Вона не повинна перевищувати 12%. Тому для виготовлення дерев'яного фасадного декору потрібно обирати не вологі заготовки, а ті, що пройшли етап природної сушки. Альтернативний варіант – придбати пиломатеріал камерної (автоклавної) сушки, оскільки в такому дереві вологи майже не залишається, воно не тріскається, не жолобиться, також не боїться подальшого зволоження.

Для виготовлення дерев'яних елементів фасаду використовувалась кінцева спіральна фреза з викидом стружки вгору, діаметр фрези $\varnothing 6$ мм, кількість різальних кромок $z = 2$. Для обробки більш гострих кутів, які залишались після фрези $\varnothing 6$ мм, було використано також кінцеву спіральну фрезу з відведенням стружки вгору, діаметр фрези $\varnothing 3$ мм, кількість різальних кромок $z = 2$.

Підготовка управляючих програм для обробки необхідних елементів на верстаті з ЧПК виконувалась за допомогою програмного забезпечення ArtCAM. Траєкторію обробки (рис. 3) умовно можна поділити на дві частини: перша – зона контурної обробки, яка визначає межі деталі; друга – зона внутрішньої обробки, частина матеріалу що призначена для видалення.

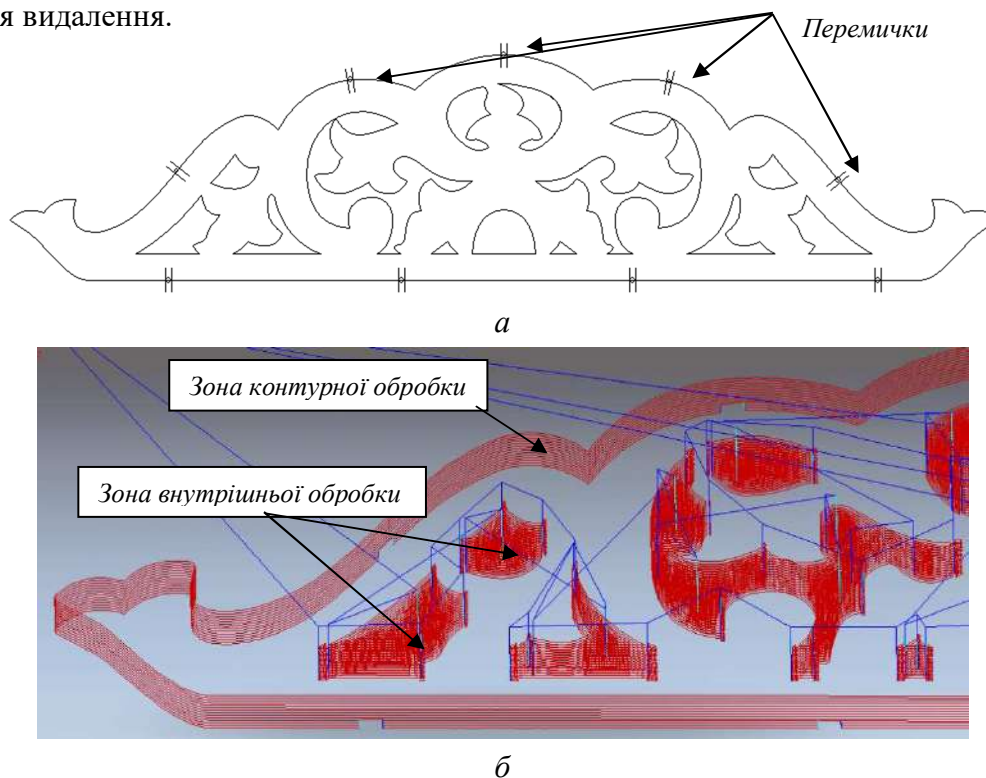


Рис. 3. Підготовка управляючих програм:

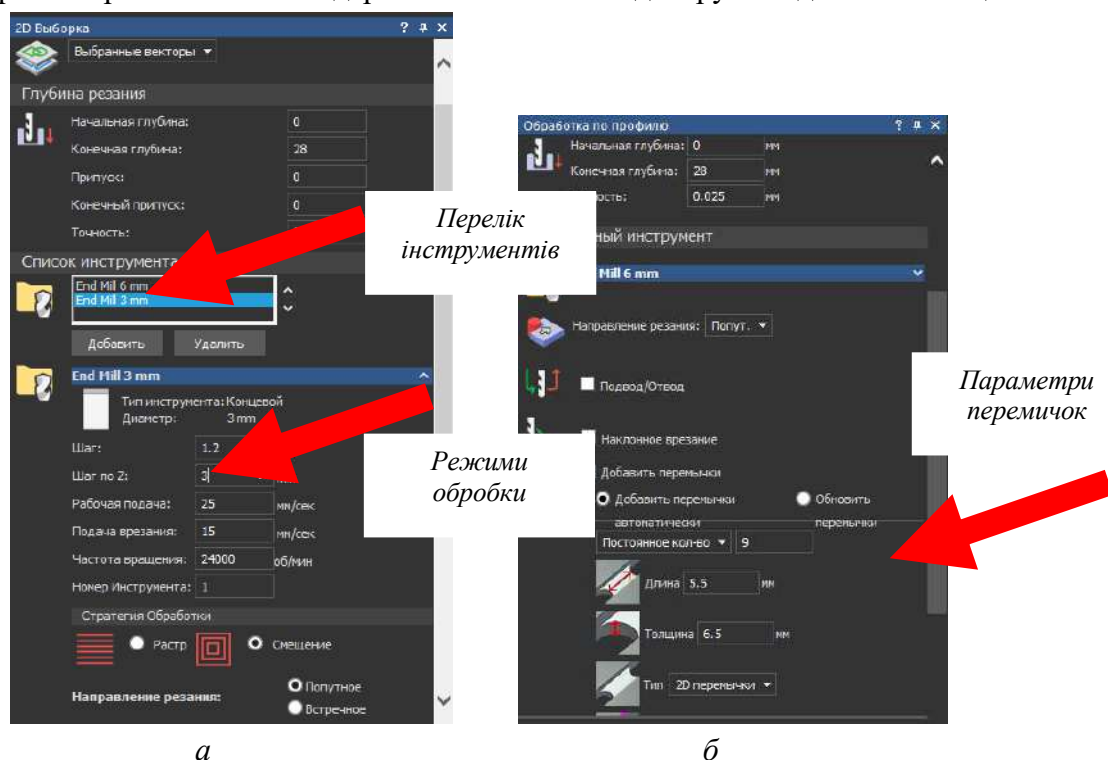
а – вектор дерев'яного елемента; *б* – траєкторія переміщення інструменту (синій – швидкі переміщення, червоний – робочі ходи)

Залежно від виду зони обирається належна стратегія і режими механічної обробки. Для запобігання пошкоджень оброблюваного елемента під час останнього проходу, по зовнішньому контуру передбачені спеціальні перемички, які утримують деталь під час виходу фрези. Кількість і розміри перемичок залежать від розмірів елемента і матеріалу заготовки. Для обробки внутрішньої зони була використана стратегія «2D вибірка», а для контурної обробки – стратегія «Обробка по профілю» (рис. 4).

Враховуючи товщину заготовки 28 мм, контурна і внутрішня обробка проводились за кілька проходів. Глибина різання за один прохід становила: для дубу 3-4 мм, для сосни 5-6 мм. Необхідно враховувати, що на вибір режимів різання, при обробці одного матеріалу одним і тим же інструментом, впливає багато факторів, основним з яких є жорсткість системи верстат-пристрій-інструмент-деталь, охолодження, стратегія обробки, глибина різання за прохід тощо.

Під час фрезерування рекомендується обирати таку стратегію обробки, яка забезпечує безперервне знімання матеріалу із стабільним навантаженням на інструмент. Для отримання допустимої шорсткості поверхні, крок між проходами фрези повинен бути

меншим діаметра фрези. Під час обробки дрібних елементів декору необхідно зменшити швидкість різання, щоб попередити появу сколів і пошкодження. Рекомендації щодо режимів обробки при виготовленні дерев'яних елементів декору наведено в таблиці 1.



а

б

Рис. 4. Вибір стратегії обробки:

а – параметри стратегії «2D вибірка»; б – параметри стратегії «Обробка по профілю»

Таблиця 1

Режими обробки використані при виготовленні дерев'яних елементів декору

Оброблюваний матеріал	Вид виконуваних робіт	Тип фрези	Частота обертів, xv^{-1}	Подача ХУ, мм/сек	Примітка
Дерево	Контурна обробка. Вибірка	Фреза спіральна, двозаходна: $d=3$ мм, $d=6$ мм,	15000-18000	25-40	Зустрічне фрезерування, глибина за прохід не більше діаметру фрези

Висновки відповідно до статті. У межах участі в некомерційному проєкті «Дерев'яне мереживо Чернігова» було вперше використано верстати з ЧПК і сучасні системи автоматизованого проєктування для відновлення дерев'яної архітектури Чернігівщини.

Проаналізовано етапи виробництва дерев'яних елементів декору фасадів будівель з використанням сучасного обладнання. Підвищення продуктивності і рівня автоматизації процесу виготовлення і відновлення елементів дерев'яної архітектури за допомогою сучасного прогресивного обладнання є одним з ефективних шляхів відродження історичних об'єктів дерев'яної архітектури в сучасних умовах.

Аналізуючи процес механічної обробки за допомогою верстата з ЧПК можна зробити висновки, що сосна досить смолиста, добре обробляється різальним інструментом при невисокій вологості. Сосна є доступним і досить поширеним видом деревини, з якої виготовляють меблі, але внаслідок механічних ушкоджень, на поверхні можуть утворитися

вм'ятини, оскільки вона належить до м'яких порід. Наявність високого вмісту смоли викликає налипання на різальних кромках інструменту і забивання стружко-відвідних каналів смолою, як результат, під час обробки відчувається підвищена вібрація в зоні різання, поява сколів і збільшення шорсткості обробленої поверхні.

Дуб, на відміну від сосни, надзвичайно міцна і тверда порода, тому під час його обробки різальний інструмент швидше втрачає стійкість і відбувається зношування різальних кромок, що супроводжується появою шуму і вібрації.

Список використаних джерел

1. Дерев'яне мереживо Чернігова. URL: <https://demer.cn.ua/ua>.
2. Войтович І. Г. Основи технології виробів з деревини : підручник. Львів : ТзОВ «Країна ангелів», 2010. 305 с.
3. DEREVO.info – інформаційний портал деревообробної галузі. URL: www.derevo.info.
4. Радчук Л. И. Основы конструирования изделий из древесины : учеб. пособие. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 200 с. : ил.
5. Узоры наличников на окна деревянного дома. URL: <https://proekt-sam.ru/rezba/uzory-dlya-nalichnikov.html#i-9>.
6. Дячун З. Й. Конструювання меблів: Корпусні вироби : навч. посіб. Київ : Вид. дім «Києво-Могилянська академія», 2007. Ч. 1. 378 с.
7. Вдовин Р. М. САПР систем автоматизації в АПК : навч. посіб. Київ : НУБіП, 2010. 36 с.
8. Хокс Б. Автоматизированное проектирование и производство : пер. с англ. Москва : Мир, 1991. 296 с. ил.
9. Деревинознавство : навч. посіб. / І. С. Вінтонів та ін. Львів : РВВ УкрДЛТУ, 2005. 256 с.
10. У Чернігові коштом громадського бюджету міської ради виготовили й випустили 20 коротких відеосюжетів про зразки дерев'яної архітектури міста XIX-XX століть. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-tourism/3156522-u-chernigovi-znali-20-promorolikiv-pro-derevane-merezivo-mista.html>.
11. Бойко С. В., Єрошенко А. М., Ігнатенко П. Л. Підготовка виробництва меблевих фасадів за допомогою сучасних САМ-систем. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1 (11). С. 159-167.

References

1. Dereviane merezhyvo Chernihova [Chernihiv wooden lace]. <https://demer.cn.ua/ua>.
2. Voitovych I.H. (2010). *Osnovy tekhnologii vyrobiv z derevyny [The basic technology of wood]*. TzOV «Kraina Anheliat».
3. DEREVO.info. www.derevo.info.
4. Radchuk, L. I. (2006). *Osnovy konstruirovaniia izdelii iz drevesiny [Basics of designing products from wood]*. HOU VPO MGUL.
5. Uzory nalichnikov na okna dereviannogo doma [Patterns of platbands on the windows of a wooden house]. <https://proekt-sam.ru/rezba/uzory-dlya-nalichnikov.html#i-9>.
6. Diachun, Z. I. (2007). *Konstruiuvannia mebliv. Korpusni vyroby [Furniture design: Cabinet products]*. Vyd. Dim «Kyievo-Mohylianska Akademiia».
7. Vdovyn, R. M. (2010). *SAPR system avtomatyzatsii v APK [CAD automation systems in agriculture]*. NUBiP.
8. Khoks, B. (1991). *Avtomatizirovannoe proektirovanie i proizvodstvo [Computer aided design and manufacturing]*. Mir.
9. Vintoniv I. S. etc. (2005). *Derevynoznavstvo [Wood science]*. RVV UkrDLTU.
10. U Chernihovi koshtom hromadskoho biudzhetu miskoi rady vyhotovyly y vypustyly 20 korotkykh videosyuzhetiv pro zrazky derevianoi arkhitektury mista XIX-XX stolit [In Chernihiv, at the expense of the public budget of the city council, 20 short videos about samples of wooden architecture of the city of the XIX-XX centuries were made and released]. <https://www.ukrinform.ua/rubric-tourism/3156522-u-chernigovi-znali-20-promorolikiv-pro-derevane-merezivo-mista.html>.
11. Boiko, S. V., Yeroshenko, A. M., Ihnatenko, P. L. (2018). Pidhotovka vyrobnytstva meblevykh fasadiv za dopomohoiu suchasnykh CAM-system [Preparation for the production of furniture facades using modern CAM-systems]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 1(11), pp. 159-167.

UDC 674.213

*Sergiy Boyko, Stanislav Ivashchenko, Andriy Yeroshenko***RESTORATION OF WOODEN DECORATIONS OF FACADES OF ANCIENT BUILDINGS IN CHERNIHIV**

Urgency of the research. Increasing the productivity and level of automation of the process of manufacturing and restoration of elements of wooden architecture with the help of modern advanced equipment is one of the effective ways to revive the historic objects of wooden architecture in modern conditions.

Target setting. The need to physically restore a large number of wooden carvings on the facades of historic buildings requires resources, both material and human. Therefore, the development of high-tech methods of restoring wood carvings on the historic facades of buildings, which save these resources is an urgent task in terms of ensuring high efficiency of machining of wood products and materials based on it.

Actual scientific researches and issues analysis. Wooden carvings on the facades of houses used to be made by hand by a craftsman. Most of the existing literature and the recommendations given in it concern manual methods of manufacturing of a decor of facades, but considering a large number of repeating elements, they are not productive.

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, there are a significant number of examples and proposals for the restoration of brick facades of historic buildings. Working with wooden facades decorated with carvings has its own features, which are not fully covered and require practical recommendations, taking into account the technical capabilities of modern equipment.

The research objective of this article is to analyse the features of the use of modern technological equipment for manufacturing, and restoration of elements of wooden architecture.

The statement of basic materials. The technology of production of wooden elements of decor of facades of houses by means of modern systems of the automated designing and CNC machines is considered. The influence on the nature of processing of processed materials, type of tool and processing modes is analysed.

Conclusions. As part of the participation in the non-profit project "Wooden Lace of Chernihiv" for the first time used CNC machines and modern computer-aided design systems to restore the wooden architecture of Chernihiv region. The influence on the nature of processing of processed materials, type of tool and processing modes is analysed.

Keywords: CNC machine; carving; wooden architecture; woodworking; wooden lace.

Fig.: 4. Table: 1. References: 10.

Бойко Сергій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Boiko Sergiy – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of machine building technology and wood processing department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: svboyko.cstu@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8341-6973>

ResearcherID: G-9798-2014

SCOPUS Author ID: 56736198700

Іващенко Станіслав Костянтинович - автор ідеї та керівник проекту "Дерев'яне мереживо Чернігова".

Ivashchenko Stanislav - author of the idea and leader of the project "Wooden lace of Chernihiv".

Срошенко Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Yeroshenko Andriy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of mechanical engineering and wood technology department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: yeroshenkoam@gmail.com

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

ResearcherID: G – 6757 – 2014

УДК 528.48:69

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-247-257

Олена Бойко

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АЕРОПОРТАХ УКРАЇНИ ДЛЯ АДМІНІСТРАТИВНО-ГОСПОДАРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ

Актуальність теми дослідження. Останніми роками в аеропортах світу активно впроваджуються хмарні технології збору, опрацювання та візуалізації геопросторових даних: лазерне та лідарне сканування, інтеграція BIM/GIS моделей, застосування штучного інтелекту, технології віртуальної та доповненої реальності, цифрових двійників та «розумних міст». Для України, яка активно йде по шляху цифровізації та впровадження сучасних геоінформаційних технологій у багатьох сферах діяльності, розробка нових методів та підходів для адміністративно-господарського управління аеропортовими комплексами є актуальним та перспективним напрямом.

Постановка проблеми. У цьому дослідженні розглянуто можливості сучасних геоінформаційних та хмарних технологій і перспективи їх використання для адміністративно-господарського управління територією аеропорту. Дослідження пов'язано з реалізацією Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року та Авіаційної транспортної стратегії України до 2030 року, метою яких є розвиток авіаційної галузі в Україні, приведення інфраструктури аеропортів до вимог Європейського Союзу. Також великий вплив на формування геопросторових даних аеропортів має Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» та Консолідована Концепція впровадження BIM в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі були проаналізовані та узагальнені публікації, що присвячені методам отримання геопросторових даних, впровадження геоінформаційних технологій, технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальності, штучного інтелекту та концепції «розумного міста» для адміністративно-господарського управління аеропортами.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання перспектив впровадження геоінформаційних технологій для адміністративно-господарського управління активами аеропортів України потребує додаткового дослідження, оскільки ці питання дуже важливі та актуальні, враховуючи стрімке зростання цифровізації суспільства, навколишнього середовища та інфраструктурних об'єктів.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є аналіз можливостей та перспектив впровадження сучасних технологій опрацювання та візуалізації геопросторових даних для адміністративно-господарського управління територією аеропорту та розробка концептуальної моделі. Завданням дослідження є аналіз методів отримання геопросторових даних території аеропорту, застосування в аеропортах геоінформаційних систем, технологій штучного інтелекту, віртуальної, доповненої та змішаної реальності, інтернету речей, цифрових двійників, реалізації концепції «розумне місто», тощо.

Виклад основного матеріалу. Геопросторові дані створюються в цифровій формі з використанням сучасних інформаційних та хмарних технологій, які пропонують широкий спектр обладнання, програмного забезпечення, методів і технологій роботи з геопросторовою інформацією. З кожним роком з'являються все нові технології, які знаходять застосування в адміністративно-господарському управлінні аеропортів: хмарні методи отримання даних, геоінформаційні системи, технології штучного інтелекту, віртуальної реальності, інтернету речей, цифрові двійники, «розумні міста» тощо. Вдала інтеграція та використання наявних можливостей щодо збору, зберігання, опрацювання та візуалізації геопросторових даних аеропортів забезпечить їх ефективне управління та економічне зростання.

Висновки відповідно до статті. За результатами проведеного аналізу можливостей використання в аеропортах технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальності, штучного інтелекту, цифрових двійників та концепції «розумних міст», було розроблено концептуальну модель перспектив використання геопросторових даних території аеропорту для вирішення питань адміністративно-господарського управління майновим комплексом.

Ключові слова: геопросторові дані; геоінформаційні системи (GIS); будівельні інформаційні моделі (BIM); BIM/GIS інтеграція; лазерне та лідарне сканування; штучний інтелект; віртуальна реальність; «розумне місто»; аеропорти; інфраструктура геопросторових даних (ІГД).

Рис.: 3. Бібл.: 29.

Актуальність теми дослідження. Останніми роками в аеропортах світу активно впроваджуються хмарні технології збору, опрацювання та візуалізації геопросторових даних: лазерне та лідарне сканування, інтеграція BIM/GIS моделей, застосування штучного інтелекту, технологій віртуальної та доповненої реальності, цифрових двійників та «розумних міст».

Для України, яка активно йде шляхом цифровізації та впровадження сучасних геоінформаційних технологій у багатьох сферах діяльності, розробка нових методів та підходів для адміністративно-господарського управління аеропортовими комплексами є актуальним та перспективним напрямом.

Постановка проблеми. У цьому дослідженні розглянуто можливості сучасних геоінформаційних та хмарних технологій і перспективи їх використання для адміністративно-господарського управління територією аеропорту.

Дослідження пов'язано з реалізацією Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року [1] та Авіаційної транспортної стратегії України до 2030 року [2], метою яких є розвиток авіаційної галузі в Україні, приведення інфраструктури аеропортів до вимог Європейського Союзу. Також великий вплив на формування геопросторових даних аеропортів має Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», прийнятий 13.04.2020 року [3] та Консолідована Концепція впровадження ВІМ в Україні [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Геопросторові дані створюються в цифровій формі з використанням сучасних інформаційних та хмарних технологій, які пропонують широкий спектр обладнання, програмного забезпечення, методів і технологій роботи з геопросторовою інформацією. З кожним роком з'являються все нові технології, які знаходять застосування в адміністративно-господарському управлінні аеропортів: хмарні методи отримання даних, геоінформаційні системи, технології штучного інтелекту, віртуальної реальності, інтернету речей, цифрові двійники, «розумні міста» тощо.

Науковці багатьох країн досліджують питання впровадження геоінформаційних технологій в аеропортових комплексах, їхні можливості щодо ефективного управління, реконструкції та модернізації.

У статті [5] розглянуті питання впровадження GIS та накопичення достовірних атрибутівних даних аеропорту, створення просторових баз даних, використання даних для управління покриттям аеродрому, плануванні та проектуванні аеропорту.

Питанням інтеграції та обміну даними між GIS аеропортів та GIS державного агентства, ефективності їх використання присвячена праця [6].

Проблему технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальності розглянуто в праці [7].

Концепцію та реалізація технології «розумного міста» досліджено в працях вітчизняних та закордонних науковців [8; 9; 10].

Питанням практичного впровадження геоінформаційних технологій в аеропортах світу, їх функціям та можливостям, присвячені статті в журналі ArcReview за матеріалами компанії Esri <https://www.esri-cis.ru/news/arcreview>.

Геопросторові дані території та об'єктів аеропорту є основою геоінформаційних систем та технологій їх опрацювання, і від їх точності, достовірності, актуальності та якості залежить правильність прийняття управлінських рішень. На цей період існує великий вибір технологій збору та використання даних, які активно впроваджуються в топографо-геодезичній, картографічній, будівельній, кадастровій галузі, галузі просторового планування тощо. У статті [11] дається розширений огляд методів збору геопросторових даних відповідно до нормативних документів, які регламентують проведення топографічних знімань в Україні. Ці методи повною мірою підходять для збору геопросторових даних території аеропорту для подальшого використання в управлінні майновими комплексами.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання перспектив впровадження геоінформаційних технологій для адміністративно-господарського управління активами аеропортів України потребує додаткового дослідження, оскільки ці питання дуже важливі та актуальні, враховуючи стрімке зростання цифровізації суспільства, навколишнього середовища та інфраструктурних об'єктів.

Постановка завдання (мета статті). Метою даного дослідження є аналіз можливостей та перспектив впровадження сучасних технологій опрацювання та візуалізації геопросторових даних для адміністративно-господарського управління територією аеропорту та розробка концептуальної моделі.

Завданням дослідження є аналіз методів отримання геопросторових даних території аеропорту, застосування в аеропортах геоінформаційних систем, технологій штучного інтелекту, віртуальної, доповненої та змішаної реальності, інтернету речей, цифрових двійників, реалізації концепції «розумне місто», тощо.

Виклад основного матеріалу. Аеропортовий комплекс - інфраструктурний об'єкт, який містить сукупність будівель, споруд, злітно-посадкових смуг, проїздів, транспортних засобів, інженерних комунікацій та інших об'єктів, призначених для обслуговування пасажирів та вантажу. Аеропорти мають приміщення для зберігання й обслуговування літаків, диспетчерські вежі, ангари та термінали, перони, мости над руліжними доріжками, центри керування повітряним рухом, ресторани і салони, служби екстреної допомоги, тощо [12].

Для адміністративно-господарського управління аеропортом, візуалізації його активів, розробки геоінформаційних систем, програм реконструкції та просторового розвитку території необхідно мати актуальні геопросторові дані. Сьогоднішня цифрова революція дає можливість отримувати, обробляти та візуалізувати великі об'єми даних.

Геопросторові дані створюються в цифровій формі з використанням сучасних інформаційних та хмарних технологій, які пропонують широкий спектр обладнання, програмного забезпечення, методів і технологій для роботи з геопросторовою інформацією.

Проаналізувавши класифікацію сучасних методів отримання геопросторових даних [11], виділимо основні, які доцільно використовувати для збору даних на території аеропорту. При виборі технології необхідно враховувати площу аеропорту, необхідну точність отриманих даних для вирішення поставлених задач, інтенсивність роботи аеропорту, завантаженість злітно-посадкових смуг, наявність інформаційних моделей об'єктів та споруд тощо [13]. Сьогодні основними методами отримання геопросторових даних території аеропорту є:

- супутникові системи позиціонування GNSS, що дозволяють визначити геопросторові координати з міліметровою точністю;
- тахеометричне знімання, нівелювання поверхні, в результаті якого отримуємо детальний план території;
- дистанційне зондування землі (ДЗЗ), яке проводиться шляхом супутникової зйомки, аерофотозйомки, зйомки з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з використанням різного типу камер та сенсорів, які дають можливість отримувати знімки високої роздільної здатності (до 30 см при супутниковій зйомці, до 5-6 см при зйомці з літака, до 2-3 см при зйомці з БПЛА);
- лазерне та лідарне сканування, яке може бути наземне або повітряне, і результатом якого є хмара точок;
- георадарне знімання.

Останніми роками широко впроваджується технологія інформаційного моделювання будівель (BIM), яка полягає в побудові тривимірної віртуальної моделі в цифровому вигляді, яка несе в собі повну інформацію про майбутній об'єкт; та інтеграція інформаційного моделювання (BIM) в геоінформаційні системи (GIS). У багатьох країнах це є обов'язковою умовою сучасного проектування інфраструктурних об'єктів. Інтеграція даних BIM і GIS розширює можливості роботи з геопросторовими цими об'єктів та споруд, підвищує ефективність всього життєвого циклу та управління на етапі експлуатації. Переваги BIM і GIS інтеграції настільки суттєві, що такі потужні компанії по розробці геоінформаційного програмного забезпечення, як Esri і Autodesk, працюють над покращенням інтеграбельності програмного забезпечення для BIM і GIS [14].

Оскільки оцифрування стала невід'ємною частиною повсякденного життя, збір даних привів до накопичення величезних обсягів даних, які можна використовувати в різних прикладних областях [15]. Велике значення в опрацюванні та візуалізації геопросторових даних мають:

- програмне забезпечення, що дає можливість швидко та якісно опрацювати великі масиви даних, створювати ортофотоплани з прив'язкою до місцевості, будувати високоякісні цифрові моделі місцевості (ЦММ), цифрові моделі рельєфу (ЦМР), створювати 3D моделі об'єктів;

- геоінформаційні системи (GIS), які маючи потужний аналітичний апарат дають можливість структурування, моделювання, аналізу та візуалізації геопросторової інформації, що зберігається в базі даних.

Новими технологіями, що останніми роками починають впроваджуватись в аеропортах світу і займають важливе місце в цифровому геоінформаційному просторі та роботі з геоданими, є хмарні технології опрацювання та візуалізації геопросторових даних:

- штучний інтелект, який використовується при прийнятті рішень в умовах невизначеності, аналітиці, розпізнаванні текстової та графічної інформації, машинному навчанні, робототехніці, тощо;

- технології віртуальної (VR), доповненої (AR) та змішаної реальності (MR), які використовуються для створення геовізуалізацій та надають можливості презентації геопросторових даних;

- технології цифрових двійників, які забезпечують збір та обробку великих масивів даних з багатьох джерел і є платформою для представлення активів, а географічна та негеографічна інформація та документи зберігаються та оновлюються в режимі он-лайн;

- реалізація концепції «розумне місто», яка повністю заснована на постійному потоці величезних обсягів даних, одержуваних за допомогою великої кількості датчиків, розподілених по всьому місту.

Штучний інтелект – це вже не перспектива найближчого майбутнього а абсолютна реальність сьогодення. Останнім часом багато уваги приділяється геопросторовому штучному інтелекту, який називають GeoAI та використовується з географічною інформаційною системою для геопросторового аналізу і створення прогнозів на основі прийнятих рішень [16].

Штучний інтелект змінює наше життя кожен день: трансформація робочого середовища, розумна інфраструктура, спрощений паспортний контроль в аеропортах, безпілотні авто і смарт-додатки – технології стали звичною частиною реальності. В аеропортах країн ЄС з 2019 року вже встановлюють системи iBorderCtrl для автоматичної перевірки пасажирів за результатами аналізу міміки. Нову технологію впровадили в деяких аеропортах Угорщини, Латвії та Греції.

Значний вплив штучного інтелекту полягає не в поліпшенні тільки алгоритмів машинного навчання, таких як глибоке навчання і посилене навчання, а також в комбінації Інтернету речей (IoT), великих даних, хмарних обчислень, програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом, прискорення графічного процесора, і робототехніка. Ці технології спільно сприяють реалізації людського сприйняття, пізнання і дії на високому рівні шляхом проникнення штучного інтелекту в повсякденне життя. У геопросторовій індустрії очікується, що наступне покоління GIS-програм буде тісно пов'язане з технологією штучного інтелекту, щоб пристрої могли розпізнавати реальний світ і самостійно визначати свій план дій [16, 17].

Технологія віртуальної реальності (VR) передбачає створення технічними засобами віртуального світу, який користувачем сприймається через зір та слух, що забезпечується відповідним апаратним забезпеченням. Створений віртуальний світ повинен максимально відповідати реальному, тобто вигляд предметів, взаємодія із ними та їх поведінка при взаємодії повинні максимально нагадувати фізику реального світу. Основною перевагою віртуальної реальності та віртуального світу загалом є те, що користувач може робити те, що він фізично не може зробити в реальному світі, наприклад, проходити крізь стіни та предмети, літати, змінювати віртуальний світ під свої потреби [7].

Технологія доповненої реальності (AR) передбачає в додаванні штучних (віртуальних) елементів у поле сприйняття (зору) людини, що дозволяє доповнити інформацію про оточення штучною, яку людина може не мати можливості отримати самостійно. Доповнена реальність – розширена версія реальності, в якій прямі або непрямі спостереження реальних фізичних користувачів підсилюються накладеними комп'ютерними зображеннями через уявлення користувача про реальний світ, тим самим посилюючи своє поточне сприйняття дійсності. На відміну від віртуальної реальності, яка вимагає, щоб користувач перебував у цілковито віртуальному середовищі, доповнена (розширена) реальність використовує існуюче середовище і просто накладає додаткову віртуальну інформацію. Оскільки віртуальні та реальні світи гармонійно співіснують, користувачі доповненої реальності випробовують та досліджують новий та покращений природний світ, де віртуальна інформація використовується як інструмент надання допомоги в повсякденній діяльності користувачів [7].

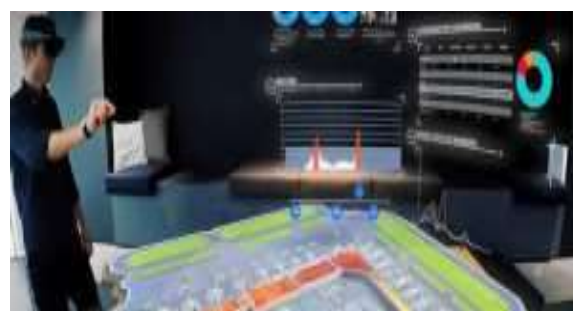
Технологія змішаної реальності (MR), на відміну від віртуальної VR та доповненої AR реальностей, передбачає взаємодію віртуального об'єкта з реальним. Тобто якщо користувач у випадку з доповненою реальністю може лише спостерігати за віртуальним об'єктом, то технологія змішаної реальності передбачає організацію взаємодії користувача із віртуальними об'єктами, інтегрованими в реальний світ. Для організації такої взаємодії необхідні значні обчислювальні потужності, але значно більші, ніж для доповненої реальності [7].

Технології VR, AR, MR є чисто віртуальними і розраховані на роботу з одним оператором для одного пристрою, а інші користувачі можуть брати участь у взаємодії, лише якщо вони синхронізовані та використовують відповідні пристрої. Тобто один користувач не завжди має змогу бачити те, що бачить інший користувач. Для реалізації цих методів необхідно використовувати відповідне апаратне забезпечення: шоломи віртуальної реальності, окуляри доповненої реальності, рукавиці віртуальної реальності та значну кількість інших спеціалізованих засобів (таких як тактильні рукавиці зі зворотнім зв'язком тощо) [7].

В аеропортах технології віртуальної, доповненої та змішаної реальності реалізуються при розробці та впровадженні тренінгових систем для пілотів та авіадиспетчерів [18], для забезпечення польотів [19], для підвищення комфорту пасажирів під час польоту та орієнтування в складних схемах аеропортів [20], для роботи персоналу аеропорту [21], тощо. На рис. 1 представлені зразки використання технологій віртуальної та доповненої реальності в аеропортах.



1



2

Рис. 1. Зразки використання технології віртуальної та доповненої реальності:

1 – вид екрану тренажера, сцена з птахами на злітно-посадковій смузі;

2 – використання окулярів доповненої реальності для аналізу ситуації в аеропорту

Цифровий двійник – це цифрова тривимірна копія реального середовища, наприклад міста, будівлі, аеропорту, в якій всі доступні геопросторові дані представлені в об'єктно-орієнтованому вигляді з геоінформаційною прив'язкою. Цифровий двійник представляє

загальне середовище даних (Common Data Environment, скорочено – CDE), яке забезпечує збір і обробку великих масивів даних із багатьох джерел: дані інформаційної моделі будівель (BIM); GIS-дані; дані, що збираються в режимі реального часу, зокрема із сенсорів і датчиків, відомості про зміни у проєктах реконструкції, про інциденти, а також фінансова інформація та документація проєктів. Тобто це єдина цифрова платформа, в якій представлені всі активи, а географічна та негеографічна інформація і документи по ним зберігаються і постійно оновлюються [22].

Оскільки аеропорти стають більш завантаженими, необхідність у покращеному управлінні їх активами має вирішальне значення для оптимізації безпеки, захисту, ефективності управління та зручності пасажирів. Цифрові двійники вже діють або тестуються в багатьох аеропортах світу: Гонконгу, Бразилії, В'єтнаму, США, Канади, Австралії, Голландії та інших країн, отримують позитивні відгуки та допомагають оптимізувати роботу та економити ресурси. Так, за попередніми оцінками, завдяки використанню цифрового двійника Амстердамський аеропорт Схіпхол зможе заощадити 5-10 % коштів на етапі обслуговування і експлуатації активів і 10-20 % – на проєктах реконструкції та розвитку [22].

На рис. 2 представлено приклад відображення даних про орендовані приміщення в середовищі CDE цифрового двійника Амстердамського аеропорту Схіпхол, в якому відображено поєднання представленого в GIS «інтелектуального» плану будівлі з «неінтелектуальними» BIM моделями тієї ж будівлі [22].

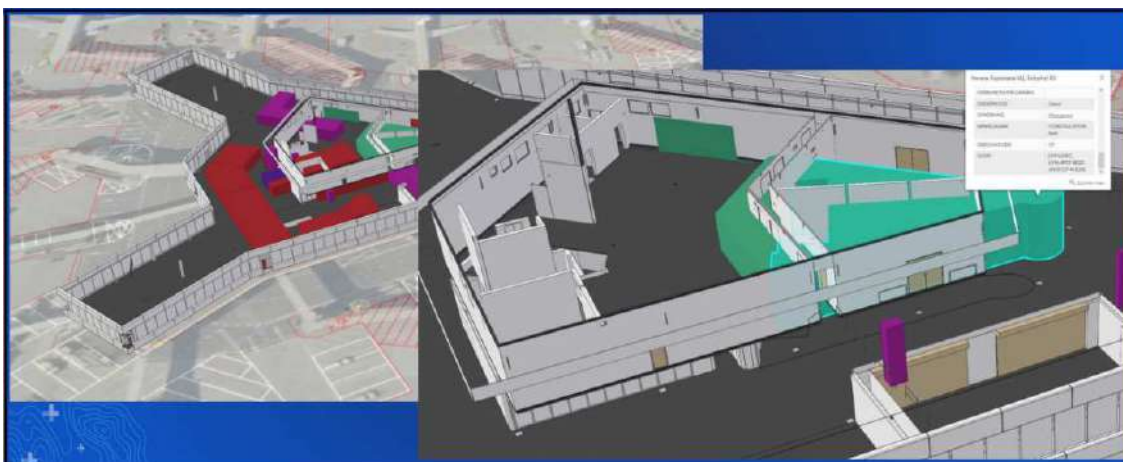


Рис. 2. Відображення цифрового двійника аеропорту Схіпхол у середовищі CDE
Джерело: за матеріалами статті «Digital Twin Helps Airport Optimize Operations» [22].

«Розумне місто» (Smart City) – це ефективна інтеграція фізичних, цифрових і людських систем в штучному середовищі, єдина система, в якій органічно взаємопов'язані міські комунікації, інформаційні технології передачі даних та пристрої інтернет речей (IoT). Концепція «розумного міста» дуже швидко розвивається в усьому світі, оскільки вона забезпечує всеосяжне цифрове середовище, яке підвищує ефективність і безпеку міських систем і сприяє залученню громадян в розвиток міст. Ця концепція заснована на використанні геопросторових даних міської забудови, природного середовища, інфраструктурних об'єктів, міських служб, тощо. Успішна реалізація проєкту «розумне місто» вимагає розробки цифрової системи, яка може управляти й візуалізувати геопросторові дані у зручному для користувача середовищі [23].

Розумне використання наявних даних вимагає інтеграції з тривимірними картами міст, для яких основними джерелами є хмари точок, отримані за допомогою лазерного сканування або фотограмметрії [24; 25].

Завдяки впровадженню геоінформаційних та хмарних технологій, нейронних мереж, штучного інтелекту та інших технологій, аеропорти є ідеальними об'єктами для реалізації та тестування технологій «розумного міста», оскільки в них присутні всі елементи міста: будівлі, проїзди, комунікації, тощо [26; 27; 28]. В аеропортах вже звичними стають електронна реєстрація, відстеження багажу, термінальний Wi-Fi, повідомлення про затримку рейсів, цифрові посадочні талони та багато іншого. Інтелектуальні функції безпеки розробляються і впроваджуються в аеропортах по всьому світу, і це тільки початок впровадження концепції інтелектуальних міст в авіаційному секторі [29].

Висновки відповідно до статті. За результатами проведеного аналізу можливостей використання в аеропортах технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальностей, штучного інтелекту, цифрових двійників та концепції «розумних міст» розроблено концептуальну модель перспектив використання геопросторових даних території аеропорту для вирішення питань адміністративно-господарського управління майновим комплексом (рис. 3).

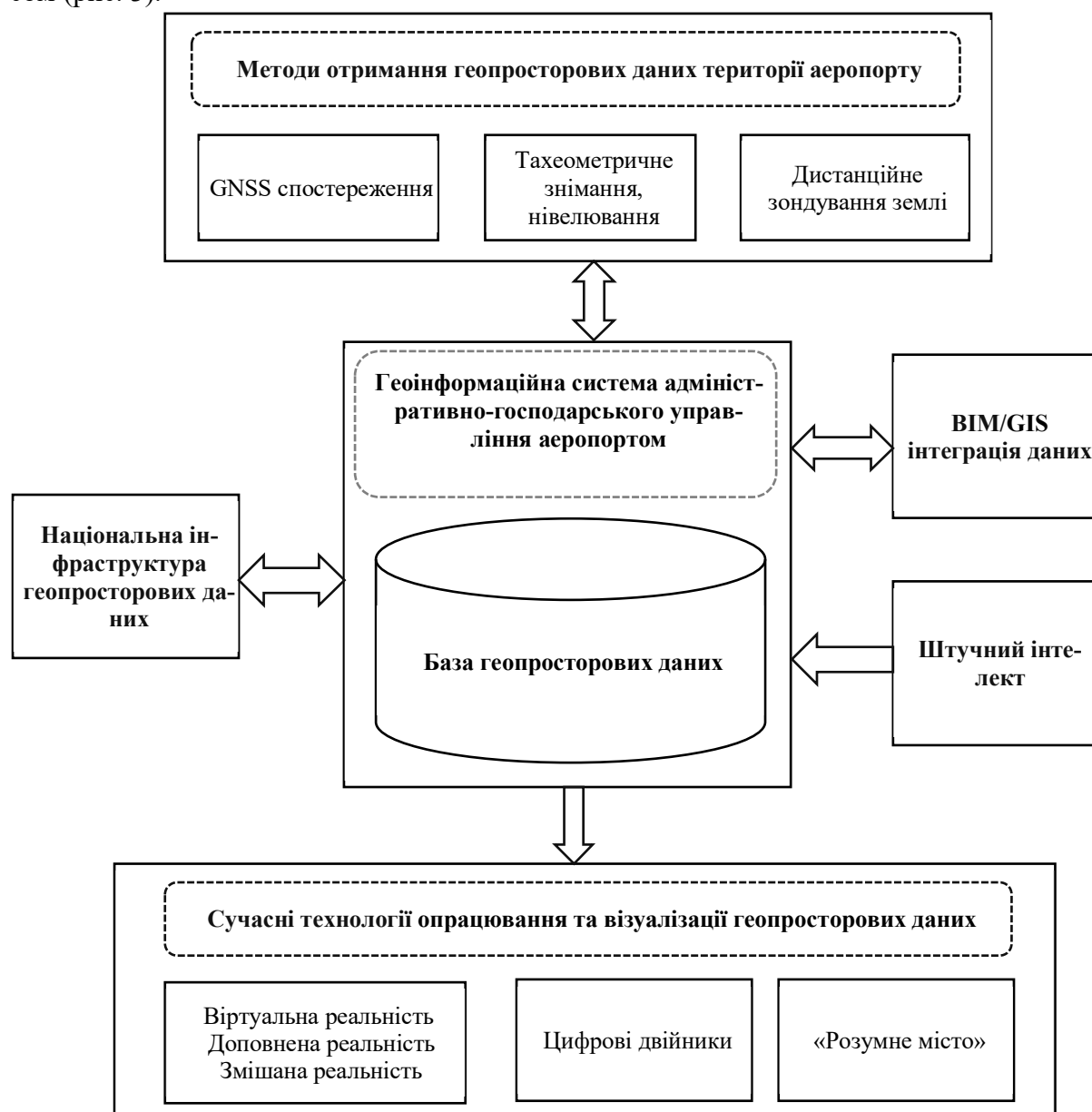


Рис. 3. Концептуальна модель перспектив використання геопросторових даних території аеропорту для адміністративно-господарського управління

Вдала інтеграція та використання наявних можливостей щодо збору, зберігання, опрацювання та візуалізації геопросторових даних аеропортів забезпечить їх ефективне управління та економічне зростання.

Список використаних джерел

1. Державна цільова програма розвитку аеропортів на період до 2023 року : затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 126. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/126-2016-%D0%BF#Text>.
2. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.
3. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України від 13.04.2020 № 554-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>.
4. Консолідована Концепція впровадження BIM в Україні. URL: https://docs.google.com/document/d/1_LIxOqkX02qIYW050Li21rbDbKUBh1VjMIuSQFt3RrA/edit?fbclid=IwAR1wG5D_iVSyWpdSzzbzWY2Z89XTvxdYZGPrpqzkwqC_r8gTKOehEXhIY.
5. Mehrdad Honarmand, Mohammad Beiranvand, Sina Bashash, Ali Ghaderi (2017) An overview of the location of airports using geographic information system (DOI: 10,14455/ISEC.res.2017.6). URL: https://www.isec-society.org/ISEC_PRESS/ISEC_09/pdf/AAE-29.pdf.
6. Randall J. Murphy, Ramzi K. Bannura. Integrating Airport Geographic Information System (GIS) Data with Public Agency GIS / National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2014, Washington, DC: The National Academies Press. URL: <https://doi.org/10.17226/22288>.
7. Каньовський А. А., Саченко А. О., Кочан В. В., Карачка А. Ф. Віртуальне просторове відображення динамічних графічних об'єктів. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2018. № 3(67). С. 100–116.
8. Андрієнко А. О. Концепція «розумного міста»: уточнення ключових понять у контексті забезпечення розвитку великого муніципального утворення. *Аспекти публічного правління*. 2018. Т. 6, № 8. С. 24–34. DOI: 10.15421/151843.
9. Строев П. В., Решетников С. Б. «Умный город» как новый этап городского развития. URL: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2017-3-207-214>.
10. Wenwen Li, Michael Batty, Michael F. Goodchild Real-time GIS for smart cities. *International Journal of Geographical Information Science*. 2020. Vol. 34, Issue 2. Pp. 311–324. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2019.1673397>.
11. Карпінський Ю. О., Лазаренко-Гевель Н. Ю. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування URL: <https://gki.com.ua/ua/metodi-zbirannja-geoprostorovih-danih-dlja-topografichnogo-kartografuvannja>.
12. Бойко О. Л., Ляшенко Д. О., Горб О. І. Розробка концептуальної моделі збору геопросторових даних регіональних аеропортів методами лазерного сканування для створення ГІС. *Містобудування та територіальне планування*. Київ, 2019. Вип. 69. С. 60–71.
13. Крячок С. Д. Топографо-геодезичне забезпечення аеропортів. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1(11). С. 239–251.
14. Boiko O., Lyashenko D., Prusov D. Conceptual fundamentals of airport BIM /GIS spatial data integration received by laser scan. *Technical sciences and technologies*. 2019. № 4(18). Pp. 238–246.
15. Eiman Al Nuaimi, Hind Al Neyadi, Nader Mohamed, Jameela Al-Jaroodi. Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*. 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/284196317_Applications_of_big_data_to_smart_cities.
16. Chou Tien-Yin, Kotzinos Dimitris, Kim Kyoung-Sook, Antonides Ashley, Hadland Anneley, Artificial Intelligence in Geoinformatics DWG. URL: <https://www.ogc.org/projects/groups/geoaidwg>.
17. Радутний О. Е. Кримінальна відповідальність штучного інтелекту. URL: http://ippi.org.ua/sites/default/files/17_1.pdf.
18. Горбунов А. П. Тренинговая система дополненной реальности для авиадиспетчеров. *Прикладная информатика*. 2014. № 5(53). С. 81–88.
19. Álvaro Ibáñez Augmented reality for working in airport control centres. URL: <https://blog.ferrovial.com/en/2018/05/augmented-reality-airport-control-centres/>.
20. Emerging Technologies in the Aviation Industry. URL: <https://www.axiscades.com/emerging-technologies-in-the-aviation-industry.html>.

21. Nacho Palou Augmented reality glasses to aid airport ground staff. URL: <https://blog.ferrovial.com/en/2018/02/augmented-reality-and-airports/>.

22. By Jim Baumann Digital Twin Helps Airport Optimize Operations. URL: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/newsroom/arcuser/arcuser-fall-2019.pdf>.

23. Isam Shahrour Use of GIS in Smart City Projects. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/use-of-gis-in-smart-city-projects>.

24. Mathias Lemmens Point Clouds and Smart Cities. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/point-clouds-and-smart-cities-2>.

25. Michael Batty Big data, smart cities and city planning. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2043820613513390>.

26. Albert E. Dotson, Elise Holtzman Gerson How Miami Can Go From Smart Airport to Smart City. URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=4dd3ca07-45af-42f1-b5fb-16af82717cc2>.

27. By Taşkın Dirsehan Mapping Smart Mobility Technologies at Istanbul New Airport Using the Customer Journey. URL: https://www.researchgate.net/publication/336784763_Mapping_Smart_obility_Technologies_at_Istanbul_New_Airport_Using_the_Customer_Joure.

28. John Walton (2018). Technology shaping the airports of the future. Australian Aviation. URL: <https://australianaviation.com.au/2018/12/technology-shaping-the-airports-of-the-future/>.

29. Smart Airports. URL: <https://www.burnsmcd.com/services/aviation/smart-airports#:~:text=A%20stroll%20through%20an%20airport,implementations%20in%20the%20aviation%20sector>.

References

1. Derzhavna tsilova prohrama rozvytku aeroportiv na period do 2023 roku [State target program for the development of airports for the period up to 2023]. (February 24, 2016). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/126-2016-%D0%BF#Tex>.

2. Pro skhvalennya Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030]. (May 30, 2018). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.

3. Pro natsionalnu infrastrukturu heoprosorovykh danykh [About the national infrastructure of geospatial data]. Law of Ukraine № 554-IX (April 13, 2020), <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>.

4. Konsolidovana Kontsepsiia vprovadzhennia BIM v Ukraini [Consolidated Concept of VIM implementation in Ukraine]. (2020). https://docs.google.com/document/d/1_LixOqkX02qIYW050Li21rbDbKUBh1VjMIuSQFt3RrA/edit?fbclid=IwARlwG5D_iVSyWpdSz_zbzWY2Z89XTvxdYZGPrqzkwqC_r8gTKOehEXhIIY.

5. Mehrdad Honarmand, Mohammad Beiranvand, Sina Bashash, Ali Ghaderi. (2017). An overview of the location of airports using geographic information system. https://www.isec-society.org/ISEC_PRESS/ISEC_09/pdf/AEE-29.pdf.

6. Randall, J. Murphy, Ramzi K. Bannura. (2014). Integrating Airport Geographic Information System (GIS) Data with Public Agency GIS. <https://doi.org/10.17226/22288>.

7. Kanovskyy, A. A., Sachenko, A. O., Kochan, V. V., Karachka, A. F. (2018). Virtualne prostoro ve vidobrazhennia dynamichnykh hrafi chnykh obyektiv [Virtual spatial representation of dynamic graphic objects]. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnyctva – Project management and production development*, 3(67), pp. 100–116.

8. Andriienko, A. O. (2018). Kontsepsiia «rozumnoho mista»: utochnennia kliuchovykh poniat u konteksti zabezpechennia rozvytku velykoho munitsypalnoho utvorennia [The concept of «smart city»: clarification of key concepts in the context of ensuring the development of a large municipality]. *Aspekty publichnoho pravlinnya – Aspects of public governance*, 6(8), pp. 24-34. DOI: 10.15421/151843.

9. Stroeve, P. V., Reshetnykov, S. B. (2017). «Umnyy horod» kak novyy etap horodskoho razvytyya [«Smart City» as a new stage of urban development]. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2017-3-207-214>.

10. Wenwen, Li, Michael, Batty, Michael, F. Goodchild. (2019). Real-time GIS for smart cities. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2019.1673397>.

11. Karpinskyi, Yu. O., Lazarenko-Hevel, N. Yu. (2018). Metody zbyrannia heoprosorovykh danykh dlia topografichnoho kartohrafuvannia [Methods of collecting geospatial data for topographic mapping]. <https://gki.com.ua/ua/metodi-zbirannja-geoprosorovih-danih-dlja-topografichnogo-kartografuvannja>.

12. Boiko, O. L., Lyashenko, D. O., Horb, O. I. (2019). Rozrobka kontseptualnoi modeli zboru heoprosoroykh danykh rehionalnykh aeroportiv metodamy lazernoho skanuvannia dlia stvorennia GIS [Development of a conceptual model for collecting geospatial data of regional airports by laser scanning methods for GIS creation]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and spatial planning*, 69, pp. 60–71.
13. Kryachok, S. D. (2018). Topografo-heodezychne zabezpechennya aeroportiv [Topographic and geodetic support of airports]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, 1(11), pp. 239–251.
14. Boiko, O., Lyashenko, D., Prusov, D. (2019). Conceptual fundamentals of airport BIM /GIS spatial data integration received by laser scan. *Technical sciences and technologies*, 4(18), pp. 238–246.
15. Eiman Al Nuaimi, Hind Al Neyadi, Nader Mohamed and Jameela Al-Jaroodi. (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*. https://www.researchgate.net/publication/284196317_Applications_of_big_data_to_smart_cities.
16. Chou Tien-Yin, Kotzinos Dimitris, Kim Kyoung-Sook, Antonides Ashley, Hadland Anneley. (n.d.). Artificial Intelligence in Geoinformatics DWG. <https://www.ogc.org/projects/groups/geoaidwg>.
17. Radutnyy, O. E. (2017). Kryminalna vidpovidalnist shtuchoho intelektu [Criminal liability of artificial intelligence]. http://ippi.org.ua/sites/default/files/17_1.pdf.
18. Gorbunov, A. P. (2014). Treningovaya sistema dopolnennoy real'nosti dlya aviadispatcherov, [Augmented reality training system for air traffic controllers]. *Prikladnaia informatika – Applied Informatics*, 5(53), pp. 81–88.
19. Álvaro Ibáñez. (2018). Augmented reality for working in airport control centres. <https://blog.ferrovial.com/en/2018/05/augmented-reality-airport-control-centres>.
20. Emerging Technologies in the Aviation Industry. <https://www.axiscades.com/emerging-technologies-in-the-aviation-industry.html>.
21. Nacho Palou. (2018). Augmented reality glasses to aid airport ground staff. <https://blog.ferrovial.com/en/2018/02/augmented-reality-and-airports>.
22. By Jim Baumann. (2019). Digital Twin Helps Airport Optimize Operations. <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/newsroom/arcuser/arcuser-fall-2019.pdf>.
23. Isam Shahrour. (2018). Use of GIS in Smart City Projects. <https://www.gim-international.com/content/article/use-of-gis-in-smart-city-projects>.
24. Mathias Lemmens. (2018). Point Clouds and Smart Cities. <https://www.gim-international.com/content/article/point-clouds-and-smart-cities-2>.
25. Michael Batty. (2013). Big data, smart cities and city planning. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2043820613513390>.
26. Albert, E. Dotson, Elise Holtzman Gerson. (2019). How miami can go from smart airort to smart city. <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=4dd3ca07-45af-42f1-b5fb-16af82717cc2>.
27. By Taşkın Dirsehan. (2019). Mapping Smart Mobility Technologies at Istanbul New Airport Using the Customer Journey. https://www.researchgate.net/publication/336784763_Mapping_Smart_Mobility_Technologies_at_Istanbul_New_Airport_Using_the_Customer_Journey.
28. John Walton. (2018). Technology shaping the airports of the future. Australian Aviation. <https://australianaviation.com.au/2018/12/technology-shaping-the-airports-of-the-future>.
29. Smart Airports. (n.d.). <https://www.burnsmcd.com/services/aviation/smartairports#:~:text=A%20stroll%20through%20an%20airport,implementations%20in%20the%20aviation%20sector>.

UDC 528.48:69

Olena Boiko

PROSPECTS FOR USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN UKRAIN AIRPORTS FOR ADMINISTRATIVE AND ECONOMIC MANAGEMENT

The urgency of the research. In recent years, world's airports are actively implementing cloud technologies for collecting, processing and visualizing geospatial data: laser and lidar scanning, integration of BIM / GIS models, the use of artificial intelligence, virtual and augmented reality technologies, digital duplicates and «smart» cities. For Ukraine, which is actively following the path of digitalization and implementation of modern geographic information technologies in many areas of activity, the development of new methods and approaches for administrative and economic management of airport complexes is a relevant and promising area.

Target settings. This study examines the possibilities of modern geographic information and cloud technologies and prospects for their use for administrative and economic management of an airport. The study is related to the implementation of the State Target Program for Airport Development until 2023 and the Aviation Transport Strategy of Ukraine until 2030, which aims to develop the aviation industry in Ukraine, bringing airport infrastructure to the requirements of the European Union. The Law of Ukraine «On the National Infrastructure of Geospatial Data» and «Consolidated Concept of VIM Implementation in Ukraine» has a great influence on the formation of geospatial data of airports.

Actual scientific researches and issues analysis. The paper analyzes and summarizes publications on methods of obtaining geospatial data, implementation of geographic information technologies, virtual, augmented and mixed reality technologies, artificial intelligence and the concept of «smart» city for administrative and economic management of airports.

Uninvestigated parts of general matters defining. Analysis of recent research and publications has shown that the prospects for the introduction of geographic information technology for administrative and economic asset management of Ukrainian airports need further research, as these issues are very important and relevant, given the rapid growth of digital society, environment and infrastructure.

The research objective. The purpose of this study is to analyze the possibilities and prospects for the introduction of modern technologies for processing and visualization of geospatial data for administrative and economic management of the airport and the development of a conceptual model. The task of the research is to analyze the methods of obtaining geospatial data of the airport, the use of geographic information systems in airports, artificial intelligence technologies, virtual, augmented and mixed reality, the Internet of Things, digital duplicates, implementation of the concept of «smart» city, etc.

The statement of basic materials. Geospatial data is created digitally using modern information and cloud technologies that offer a wide range of equipment, software, methods and technologies for working with geospatial information. Every year, new technologies that are used in the administrative and economic management of airports appear: cloud data acquisition methods, geographic information systems, artificial intelligence technologies, virtual reality, the Internet of Things, digital counterparts, «smart» cities, and more. Successful integration and use of existing capabilities for the collection, storage, processing and visualization of geospatial data of airports will ensure their effective management and economic growth.

Conclusions. Based on the analysis of the possibilities of using virtual, augmented and mixed reality technologies, artificial intelligence, digital duplicates and the concept of «smart» cities in airports, a conceptual model of prospects for using geospatial data of the airport to address administrative and economic management of the property complex was developed.

Keywords: geospatial data, geographic information systems (GIS), building information models (BIM), BIM / GIS integration, laser and lidar scanning, artificial intelligence, virtual reality, «smart» city, airports, geospatial data infrastructure (SDI).

Fig.: 3. References:29.

Бойко Олена Леонідівна – старший викладач кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Національний авіаційний університет (просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна).

Olena Boiko – Senior Lecturer at the Department of Aerospace Geodesy and Land Management, National Aviation University (1 Lubomir Husar Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

E-mail: boyko_lena@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8654-9392>

СВІТЛІЙ ПАМ'ЯТІ ВИДАТНОГО УЧЕНОГО ЛИТВИНОВА ВІТАЛІЯ ВАСИЛЬОВИЧА



2 грудня 2020 року виповнюється 80 років з дня народження видатного українського вченого в галузі інформаційних технологій, програмного забезпечення та імітаційного моделювання Литвинова Віталія Васильовича. Усе його життя було наповнено служінням науці та освіті. До останнього дня він залишався великим оптимістом і ентузіастом, невтомним дослідником і експериментатором. Характерною рисою діяльності В. В. Литвинова завжди було поєднання високого наукового рівня виконуваних досліджень із доведенням результатів до їх практичного втілення.

Віталій Васильович майже все життя пропрацював у Національній академії наук України, був одним із провідних учених-кібернетиків, відзначений трьома Державними преміями. Під його керівництвом була розроблена система імітаційного моделювання АЛСІМ та інформаційно-розрахункова система для військово-морського флоту «Юпітер», виконані масштабні проекти з розробки програмного забезпечення для авіаційних компаній Delta Airlines та МАУ. Разом із колективом Національної академії наук України він брав участь у розробці новітніх установок електронно-променевого зварювання, які нині використовуються в корпораціях Boeing (США), Airbus (Британія, Франція), а також у різних країнах, зокрема Японії, Китаї та Індії.

Як професор, доктор технічних наук, Віталій Васильович щедро ділився своїми знаннями та досвідом зі студентами, працюючи в різні роки в Національному технічному університеті «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Національному авіаційному університеті, а останні роки свого життя, керуючи кафедрою програмної інженерії Національного університету «Чернігівська політехніка».

Поряд з виконанням ґрунтовних наукових досліджень Литвинов В. В. завжди вів активну науково-організаційну роботу. Він був членом редколегії двох наукових журналів, в тому числі й журналу «Технічні науки та технології», членом двох спеціалізованих рад із захисту докторських та кандидатських дисертацій, академіком та головою Чернігівського осередку Академії технологічних наук України. За його ініціативи почала проводитись Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем», яка стала авторитетним науковим заходом не тільки в Україні, але й за її межами. За багато років невтомної праці професор В. В. Литвинов створив наукову школу, виховав трьох докторів наук та 14 кандидатів наук, а результати його наукових досліджень і прикладних розробок відображені в 12 монографіях, 3 декларативних патентах і близько 200 наукових працях.

Пам'ять про видатного вченого, вчителя та товариша завжди залишиться в серцях його вдячних учнів та колег.

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

Шановні дописувачі!

Для подання статті необхідно спочатку надіслати на електронну адресу tst.technical.sj@gmail.com Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів) для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології».

Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість публікації і відправити весь пакет документів.

Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком;
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів;
- квитанцію (скановану) про сплату вартості публікації наукової статті.

Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **55 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією.

***УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»:***

<http://tst.stu.cn.ua/>

Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Контактна особа: Кормило Ірина Миколаївна.

Тел. роб.: (0462) 66-51-15

Тел. моб.: (093) 592-78-12

E-mail: tst.technical.sj@gmail.com

**Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи,
що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.**

*Редакція розглядає надходження публікації та супровідних документів (рецензії,
довідки про авторів тощо) як згоду дописувача (ів) щодо передачі авторського права
на використання твору (тиражування, розповсюдження тощо).*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 4(22)

Відповідальний за випуск
Редактор
Комп'ютерне складання та верстання

С. П. Сапон
О. С. Смєлова
Т. М. Колот

Підписано до друку 29.12.2020. Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. – 30,23.
Тираж 100 пр. Замовлення № 541/20.

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.