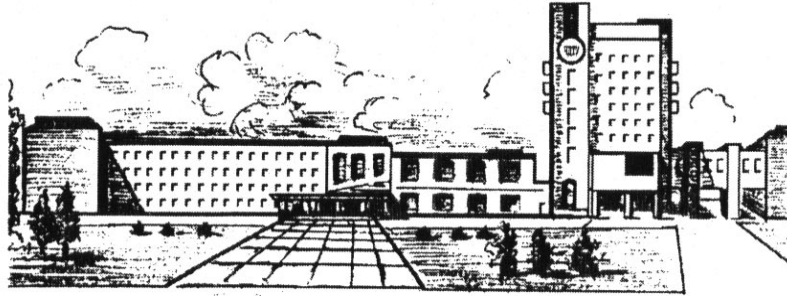


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

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



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 3 (13)

Чернігів 2018

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 9 від 24.09.2018 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 р. № 1714.

Т38 **Технічні науки та технології** : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – № 3 (13). – 278 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: прикладної механіки; технологій машинобудування та автотранспорту; зварювання та матеріалознавства; інформаційно-комп'ютерних технологій; енергетики, електротехніки та електроніки; технологій харчової та хімічної промисловості; технологій будівництва та геодезії. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів.

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

УДК 62:67.05

Головний редактор:

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Чернігівський національний технологічний університет.

Заступник головного редактора:

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент.

Члени редакційної колегії:

Прикладна механіка та матеріалознавство

Бойко С. В., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;
Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;
Дубенець В. Г., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;
Єрошенко А. М., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;
Кальченко В. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;
Кальченко В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;
Новомлинець О. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;
Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

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, Чернігівський національний технологічний університет;
Литвинов В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Енергетика, електротехніка та електроніка

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, Чернігівський національний технологічний університет;
Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;
Ромеро-Кадавал Е., доктор технічних наук, професор, Університет Естремадури (Іспанія);
Скоробогатова В. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Хімічні та харчові технології

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

Сиза О. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Будівництво та геодезія

Вінніков Ю. Л., доктор технічних наук, професор, Полтавський національний технічний університет;
Шульц 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 NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 3 (13)

Chernihiv 2018

UDC 62:67.05

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 9 dated 24.09.2018). 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 December 28, 2017 № 1714.

Technical sciences and technologies: scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2018. – № 3 (13). – 278 p.

This issue of the journal “Technical sciences and technologies” contains articles devoted to theoretical and experimental research in the field of technical sciences: applied mechanics; engineering and vehicle technology; welding and materials science; information and computer technologies; power engineering, electrical engineering and electronics; chemical and food technologies, construction and geodesy. The articles are written by scientists, graduate students, undergraduates and students and are reviewed by leading scientists of higher technical educational institutions. Journal “Technical sciences and technologies” will be useful for the scientists in different fields of technical sciences, scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of higher technical educational establishment.

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

UDC 62:67.05

Editor in chief:

Kazymyr V. V., Vice-rector for scientific work, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (ChNUT).

Deputy Editor in chief:

Sapon S. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT.

Members of the Editorial Board:

Applied mechanics and materials science

Boyko S. V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT;

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

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

Yeroshenko A. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT.

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

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

Novomlynets O. O., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

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

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, ChNUT;

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

Power engineering, electrical engineering and electronics

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; ChNUT;

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

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

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

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; ChNUT.

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 I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Кальченко В. І., Кальченко В. В., Кологойда А., Кужельний Я.</i> Розрахунок сил різання одиночним абразивним зерном орієнтованого шліфувального круга	9
<i>Музичка Д.</i> Вплив зносу зерен на теоретичну довжину твірної головного різального конуса	18
<i>Сіра Н., Литвин О., Кальченко Д., Морочко В.</i> Експериментальне дослідження теплонпруженості процесу зносу круга, сил різання та потужності при двосторонньому шліфуванні торців заготовок різного діаметра	30
<i>Ванько В., Приходько О.</i> Удосконалена методика оцінювання якості гільзи циліндра двигуна внутрішнього згорання сільськогосподарської техніки	41
<i>Jánoš R., Vaňasová A.</i> Cell design for gearbox assembly	49
<i>Marcinko P., Hajduk M., Palko M.</i> Automobile with pneumatic	55
<i>Semjon J., Kostka J., Mako P.</i> Using the simulation program for the design and optimization of the production line	61
<i>Tuleja P., Mamontov P.</i> Application of industrial pneumatic components in the educational process	68
<i>Hroncová D.</i> Construction of equations of motion of multibody systems and computer modeling	74
<i>Kelemen M.</i> Machine motion optimization	82
<i>Virgala I., Filakovský F.</i> Algorithm of Euler-Lagrange method for designing of dynamic model	89
<i>Дубягін О.</i> Модель міжрівневого балансу: агрегатна форма	96
<i>Ільєнко А., Руновська Л.</i> Чисельний алгоритм для знаходження ймовірності виродження в моделі Крамера-Лундберга	105
<i>Радченко С., Лапач С.</i> Дослідження та моделювання технологічного процесу контактного зварювання труб	114
<i>Новомлинець О., Олексієнко С., Ющенко С., Байдала О., Половецький Є.</i> Зварювання тиском алюмінієвих сплавів через модифіковані поверхневі шари	123

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Башиїнська О., Казимир В., Нестеренко С.</i> Формування телеметричних лог-файлів для оперативної технічної діагностики безпілотних авіаційних комплексів	132
<i>Лактіонов О.</i> Індексна оцінка якості підготовки оператора верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК)	139
<i>Бойко С., Волканін Є., Городній О., Борисенко О., Вериняк Л.</i> Застосування нейронних мереж при автоматизації діагностики стану авіаційного генератора гвинтокрила	152
<i>Šarga P., Cocu' a J.</i> Design and implementation of smart home model	161
<i>Vazylevych V., Mekhed D., Guryev V.</i> Development of criteria of protection from cyber threats at social enterprise	167
<i>Rá kay R., Višňovský M., Galajdová A., Šimšík D.</i> Possibilities of communication enhancement for experimental production system	173
<i>Juruš O., Koukolová L.</i> Smart camera for simple sorting tasks	180

РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

<i>Денисов Ю., Шаповалов О., Серєда О., Куц Є.</i> Оптимізація енергодинамічних процесів у системі керування приводом стабілізації польоту безпілотного літального апарата	187
<i>Тительмаєр К., Хоменко М.</i> Порівняння методів керування двофазним двонаправленим перетворювачем постійної напруги з чергуванням фаз	196
<i>Шевченко В., Трейко Б., Гусєв О., Пахалюк Б., Хоменко О.</i> Огляд і порівняння базових топологій компенсації для бездротової передачі енергії	209
<i>Miková L.</i> Didactic model of lift	219
<i>Vagaš M.</i> Summary of chosen legislation used in automated operation	225

РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Сиза О., Кичка А., Гусол Т., Савченко О.</i> Екстракт із коріння кульбаби лікарської як перспективна сировина у виробництві харчових концентратів.....	231
<i>Воробйова В., Шакур А., Трус І., Сердюк О., Ткачук В., Чигиринець О.</i> Вивчення компонентного складу та протикорозійної ефективності продуктів переробки абрикоса (<i>Prunus Armeniaca L.</i>).....	240
<i>Челябієва В., Соседова К.</i> Використання заквасок спонтанного бродіння та борошна бобових культур у виробництві хліба	251

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

<i>Крячок С., Щербак Ю., Мамонтова Л.</i> Застосування полюсного методу визначення координат на приаеродромній території	258
<i>Марченко Н., Новицький С., Зав'ялов Д.</i> Особливості кінетики водо- та вологопоглинання сухостійної деревини сосни звичайної.....	269

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ	277
---	-----

CONTENT

SECTION I. APPLIED MECHANICS AND MATERIALS SCIENCE

Kalchenko V., Kalchenko V., Kolohoida A., Kuzhelnyi Ya. Calculating the forces of cutting with a single abrasive grain of the oriented grinding circle 9

Muzychka D. Grain wear effect on the theoretical length of the main cutting cone generatrix 18

Sira N., Lytvyn O., Kalchenko D., Morochko V. Experimental investigation of thermal efficiency of the process of circle wear, cutting power and capacity in the bilateral sanding of scrapers of trailers with different diameters..... 30

Vanko V., Prykhodko O. Improved method of evaluation of the quality of the cylinder mill for the internal semiconductor engine in agricultural equipment 41

Jánoš R., Baňasová A. Cell design for gearbox assembly 49

Marcinko P., Hajduk M., Palko M. Automobile with pneumatic 55

Semjon J., Kostka J., Mako P. Using the simulation program for the design and optimization of the production line 61

Tuleja P., Mamontov P. Application of industrial pneumatic components in the educational process 68

Hroncová D. Construction of equations of motion of multibody systems and computer modeling 74

Kelemen M. Machine motion optimization..... 82

Virgala I., Filakovský F. Algorithm of Euler-Lagrange method for designing of dynamic model..... 89

Dubyagin A. Model of inter-level balance: aggregate form 96

Ilienka A., Runovska L. A numerical algorithm for finding the ruin probability in the cramér-lundberg model 105

Radchenko S., Lapach S. Research and modeling of technology contact welding of pipes 114

Novomlynets O., Oleksiienko S., Yushchenko S., Baydala O., Polovetskiy E. Precision pressure welding of aluminium alloys through modified surface layers 123

SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

Bashynska O., Kazymyr V., Nesterenko S. Forming telemetric log files for unmanned aerial systems' operational technical diagnosis 132

Laktionov A. The quality indicative assessment of machine tool operator training with numerical software control (CNC)..... 139

Boiko S., Volkanin Ye., Gorodny O., Borysenko O., Vershniak L. Application of neural networks with automation of diagnostics of the helicopter aviation generator status..... 152

Šarga P., Cocul'a J. Design and implementation of smart home model 161

Bazylevych V., Mekhed D., Guryev V. Development of criteria of protection from cyber threats at social enterprise 167

Rákay R., Višňovský M., Galajdová A., Šimšík D. Possibilities of communication enhancement for experimental production system..... 173

Juruš O., Koukolová L. Smart camera for simple sorting tasks 180

SECTION III. POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTRONICS

Denisov Yu., Shapovalov O., Sereda O., Kuts Ye. Optimization of energy dynamical processes in the control system of the drive for stabilizing the flight of the unmanned aerial vehicle 187

Tytelmaier K., Khomenko M. Comparison of control methods for two-phase interleaved bidirectional converter 196

Shevchenko V., Treiko B., Husev O., Pakhaliuk B., Khomenko O. Overview and comparison of basic compensation topologies for wireless power transfer 209

Miková L. Didactic model of lift 219

Vagaš M. Summary of chosen legislation used in automated operation 225

SECTION IV. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Sizaya O., Kychka A., Husol T., Savchenko O.</i> Extracts from dandelion's root such perspective raw materials in production of food concentrates.....	231
<i>Vorobyova V., Shakyn A., Trus I., Serdiuk O., Tkachuk V., Chygyrynets O.</i> Evaluation of the component composition by-products of apricot (<i>Prunus armeniaca L.</i>)	240
<i>Cheliabiiyeva V., Sosedova E.</i> Using of leaven of spontaneous fermentation and of flour leguminous in bread production	251

SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY

<i>Kryachok S., Shcherbak Yu., Mamontova L.</i> Application of the polar method for determining coordinates on the territory near the aerodrome	258
<i>Marchenko N., Novytskyi S., Zavalov D.</i> Features of kinetics of water and moisture absorption of scotch pine deadwood.....	269

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES.....	277
---	------------

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.922

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-9-17

Віталій Кальченко, Володимир Кальченко, Антоніна Кологойда, Ярослав Кужельний

РОЗРАХУНОК СИЛ РІЗАННЯ ОДИНИЧНИМ АБРАЗИВНИМ ЗЕРНОМ ОРІЄНТОВАНОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА

Актуальність теми дослідження. У процесі шліфування абразивним зерном орієнтованого круга на нього діють одиничні сили різання. Визначення реальних значень зусиль у зоні обробки дозволяє вибрати оптимальні режими шліфування.

Постановка проблеми. При використанні емпіричного та розрахунково-експериментального методів визначення сил різання під час шліфування виникають неточності внаслідок необхідності визначення експериментальних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запропоновано уточнюючу методику розрахунку сил різання при шліфуванні орієнтованим інструментом, яка враховує наявність деформуючих зерен у зоні контакту. Поширені програмні методи розрахунку сил різання, що базуються на використанні методу скінченних елементів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не розглянуто методи розрахунку сил різання, що виникають під час шліфування орієнтованим кругом та діють на одне абразивне зерно.

Постановка завдання. Розрахунок сил різання, що діють на одиничне абразивне зерно в процесі шліфування зі схрещеними осями інструменту та деталі. Визначення сил різання шляхом моделювання процесу обробки в системі *Abaqus* та з використанням розрахунково-експериментального методу.

Виклад основного матеріалу. У програмному пакеті *Abaqus* проведено моделювання процесу різання поверхні заготовки одиничним абразивним зерном орієнтованого інструмента. Виявлено закономірності зміни сили різання вздовж різальної кромки зерна. Розрахована сумарна сила різання, що діє на одне абразивне зерно, з використанням методу скінченних елементів у програмному пакеті *Abaqus* та за допомогою розрахунково-експериментальних формул у математичному пакеті *Mathcad*.

Висновки відповідно до статті. Виявлені закономірності розподілу сил різання дадуть можливість оптимального вибору режимів обробки.

Ключові слова: шліфування; орієнтований інструмент; тривимірне моделювання; сили різання; зерно.

Рис.: 10. Бібл.: 7.

Актуальність теми дослідження. З метою забезпечення необхідної геометричної точності та шорсткості поверхні широко використовують операції шліфування. Найбільш прогресивним методом шліфування є глибинна обробка орієнтованим інструментом. У процесі зняття припуску виникають відповідні сили різання, розрізняють сумарні та одиничні. Визначення реальних значень зусиль у зоні обробки дозволяє вибрати оптимальні режими шліфування з погляду забезпечення необхідної якості та продуктивності. Отже, задача визначення сил, що діють на одиничне абразивне зерно під час шліфування орієнтованим кругом, є актуальною.

Постановка проблеми. При абразивному шліфуванні орієнтованим інструментом у процесі зняття припуску бере участь ряд абразивних зерен, саме тому прийнято розглядати не тільки сумарну силу різання, що виникає в зоні контакту інструменту та деталі, але й одиничні сили, що діють на кожне абразивне зерно в процесі обробки. Дуже поширені емпіричний та розрахунково-експериментальні методи визначення сил різання при шліфуванні [1; 2]. Однак при використанні кожного з них виникають деякі неточності за рахунок необхідності визначення експериментальних даних та кількості різальних зерен у межах плями контакту орієнтованого інструменту та деталі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [3; 4] запропоновано уточнюючу методику розрахунку сил різання при шліфуванні зі схрещеними осями інструмента та деталі, яка враховує наявність деформуючих зерен у зоні контакту, піддатливість оброблюючої системи та переривчастість поверхні круга. У роботі [4] наведено методику розрахунку одиничних та сумарних сил різання при обробці нежорсткої переривчастої поверхні голчастої гарнітури барабанів та валиків текстильних машин орієнтованим шліфувальним кругом.

Усе більшого поширення набувають програмні методи розрахунку сил різання основані на використанні методу скінченних елементів [5; 6; 7]. Найчастіше моделювання процесу різання здійснюють із використанням таких програмних продуктів, як Ansys, LS-Dyna, Abaqus та ін. Вони пропонують широкий інструментарій для проведення лінійного та нелінійного аналізу, при цьому користувач може або самостійно задавати основні характеристики матеріалів інструменту та деталі, або використовувати вбудовані бібліотеки. У роботі [6] наведені приклади моделювання напружено-деформованого стану зони різання при точінні в системі LS-Dyna. Запропоновані методики опису оброблюючої системи, особливості вибору властивостей матеріалів інструменту та деталі. Наведені основні принципи вибору величини та типу сітки скінченних елементів, з метою підвищення достовірності розрахунку та зменшення машинного часу обробки задачі. Загальна методика вибору типу та встановлення властивостей абразивного зерна наведена в роботі [7].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У роботі [6] не розглянуто методи розрахунку сил різання, що виникають при шліфуванні орієнтованим кругом та діють на одне абразивне зерно.

Мета статті. Головною метою роботи є розрахунок сил різання, що діють на одичне абразивне зерно під час шліфування сталевих деталей зі схрещеними осями інструменту та деталі. Визначення сил різання шляхом моделювання процесу обробки одиничним абразивним зерном у системі Abaqus та з використанням розрахунково-експериментального методу.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо схему круглого повздожнього шліфування орієнтованим інструментом циліндричної ступені валика діаметром 30 мм (рис. 1), виготовленого з матеріалу Сталь 45. Обробку будемо проводити шліфувальним кругом I-200×25×32 25А 25 СТ1 7К. Швидкість обертання шліфувального круга 30 м/с, деталі 30 м/хв.

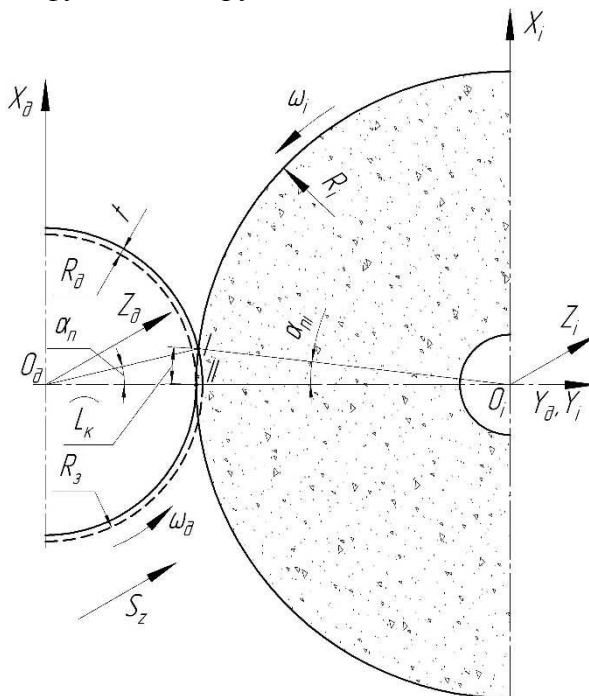


Рис. 1. Схема повздожнього круглого шліфування валика

Визначимо час різання та довжину дуги контакту для деякого одиничного абразивного зерна з поверхнею валика за методикою описаною в роботі [7]. Відповідно до

рис. 1 процес зняття припуску починається у точці I, при цьому кут входу зерна в тіло деталі в системі координат деталі α_n , інструменту – α_{ni}

$$\cos(\alpha_n) = \frac{(R_\partial + R_i)^2 + R_3^2 - R_i^2}{2 \cdot (R_\partial + R_i) \cdot R_3} = \frac{(R_\partial + R_i)^2 + (R_\partial + t)^2 - R_i^2}{2 \cdot (R_\partial + R_i) \cdot (R_\partial + t)}, \quad (1)$$

$$\cos(\alpha_{ni}) = \frac{(R_\partial + R_i)^2 + R_3^2 - R_i^2}{2 \cdot (R_\partial + R_i) \cdot R_3} = \frac{(R_\partial + R_i)^2 + R_i^2 - (R_\partial + t)^2}{2 \cdot (R_\partial + R_i) \cdot R_i}, \quad (2)$$

де α_n, α_{ni} – початковий кут контакту в системі координат деталі та круга відповідно; R_3 – радіус заготовки; R_∂ – радіус деталі; R_i – радіус інструменту; t – глибина різання.

Зняття матеріалу припиняється в положенні II, де $\vec{V} \cdot \vec{n} = 0$ та формується кінцевий профіль поверхні циліндричного валика. Тобто кут виходу зерна з зони обробки $\alpha_\kappa = 0$.

Подача матеріалу в зону обробки здійснюється за допомогою двох складових: швидкості обертання деталі та інструмента. У загальному випадку кутова швидкість руху інструмента більша, ніж у деталі. Водночас під час повороту круга на кут α_{ni} , поверхня деталі повернеться на деякий кут $\alpha_{\partial\partial\partial}$

$$\alpha_{\partial\partial\partial} = \alpha_{ni} \cdot \frac{\omega_\partial}{\omega_i} = \alpha_{ni} \cdot \frac{V_\partial \cdot R_i}{V_i \cdot R_\partial}. \quad (3)$$

Сумарний кут контакту

$$\alpha_\Sigma = \alpha_{ni} + \alpha_k \pm \alpha_{\partial\partial\partial} = \alpha_{ni} \pm \alpha_{\partial\partial\partial}. \quad (4)$$

Загальна довжина риски, яку залишить одиничне зерно на поверхні деталі

$$L = \alpha_{ni} \cdot R_i \pm \alpha_{\partial\partial\partial} \cdot R_\partial. \quad (5)$$

У рівняннях (3), (4) слід вибирати знак «-» для попутного шліфування, «+» – для зустрічного.

Загальний час роботи зерна τ

$$\tau = \frac{\alpha_{ni} \cdot R_i}{V_i}. \quad (6)$$

Для заданих умов роботи ($R_\partial = 15 \text{ мм}$; $R_i = 100 \text{ мм}$; $t = 0,1 \text{ мм}$; $V_\partial = 10 \text{ м/с}$; $V_i = 30 \text{ м/с}$) отримаємо

$$\alpha_{ni} = 1,48^0; \alpha_{\partial\partial\partial} = 0,05^0; L_z = 2,63 \text{ мм}, L_p = 2,54 \text{ мм}, \tau = 8,61 \cdot 10^{-5} \text{ с}, \quad (7)$$

де L_z, L_p – довжина риски, яку залишить одиничне зерно на поверхні деталі для зустрічної та попутної схем обробки відповідно.

З метою дослідження впливу параметрів процесу обробки на довжину контакту одиничного абразивного зерна з поверхнею деталі побудуємо графіки (рис. 2).

Як видно з рис. 2, а, б, найбільш суттєвий вплив на довжину лінії контакту одиничного абразивного зерна та поверхні циліндричного валика має глибина різання та радіус обробленої поверхні. Так, у разі збільшення глибини різання до 1 мм довжина риски на поверхні деталі може сягати 8 мм. При цьому для схеми попутного шліфування зростання довжини риски відбувається дещо повільніше. При збільшенні діаметра оброблюваної деталі за схемами зустрічного та попутного різання довжина лінії контакту постійно збільшується (рис. 2, б).

На рис. 2, в, з зображено графіки залежності довжини контакту зерна та деталі залежно від швидкостей обертання деталі (рис. 2, в) та інструменту (рис. 2, з). При цьому збільшення швидкості обертання деталі викликає зменшення довжини риски для попутної схем обробки та її збільшення для зустрічної. При зміні швидкості обертання інструменту в діапазоні до 10 м/с довжина лінії контакту при попутному шліфуванні збільшується, а при зустрічному, навпаки, зменшується. Однак коли досягається деяке критичне значення, подальше зростання швидкості обертання інструменту на довжину риски майже не впливає.

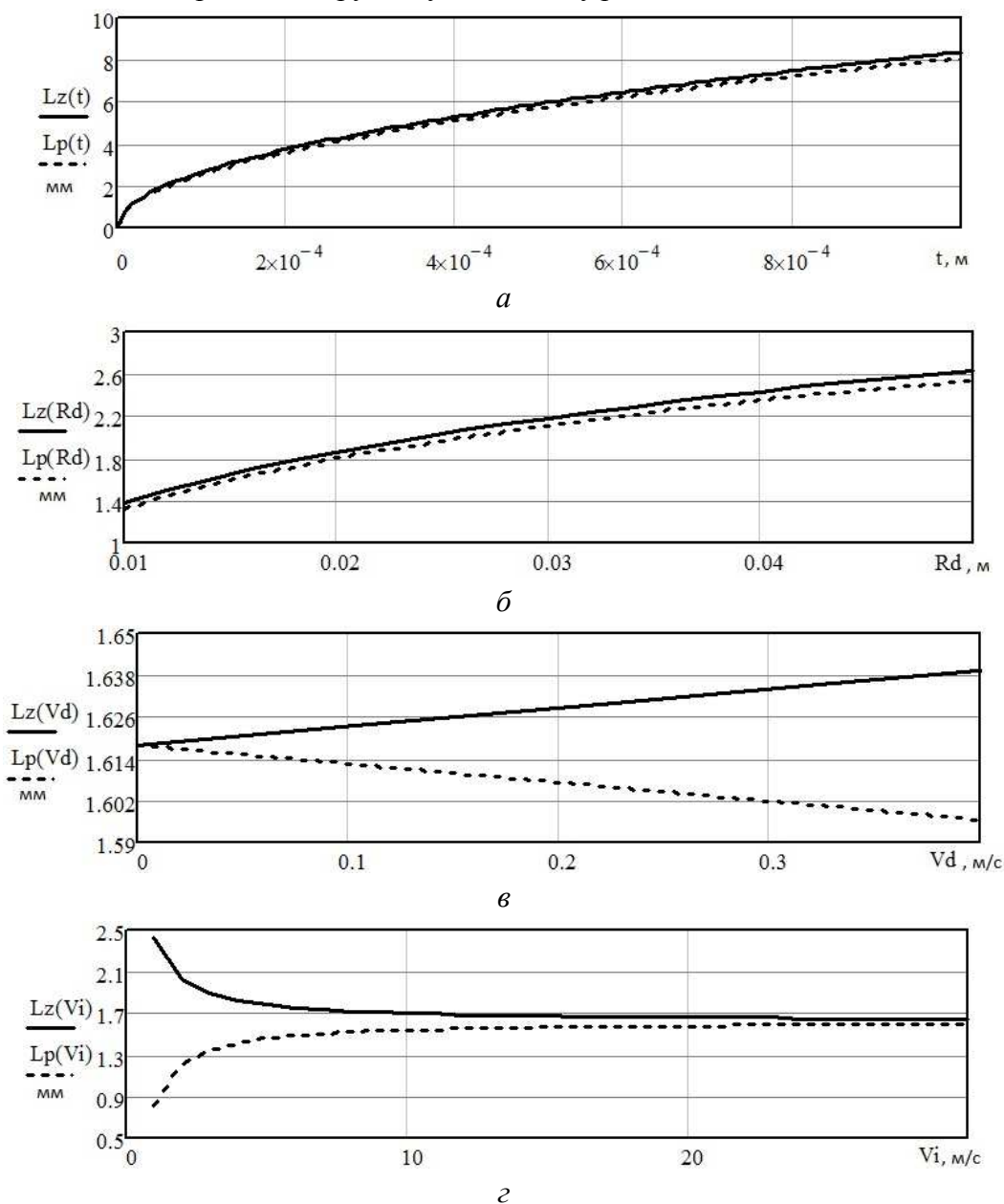


Рис. 2. Графіки зміни довжини контакту одиничного зерна та деталі

Проведемо моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном у програмному пакеті Abaqus для описаних умов обробки. При цьому, як видно з попередніх обчислень, довжина лінії контакту абразивного зерна на поверхні деталі становить $L_z = 2,63$ мм, час різання $\tau = 8,61 \cdot 10^{-5}$ с (рис. 3, а). Враховуючи, що радіус обробленої поверхні валика становить $R_d = 15$ мм, а розміри абразивного зерна невеликі

($\rho = 40 \text{ мкм}$, $a_z = 10 \text{ мкм}$, $\gamma = -45^\circ$) (рис. 3, а, б), то цю схему можна замінити на аналогічну, апроксимуючи ділянку дуги в прямолінійний відрізок. При цьому глибину різання та довжину лінії контакту залишаємо не змінними, а швидкості обертання інструмента та деталі замінюємо результируючою швидкістю руху зерна відносно поверхні заготовки. Валик вважаємо нерухомим (рис. 3, в).

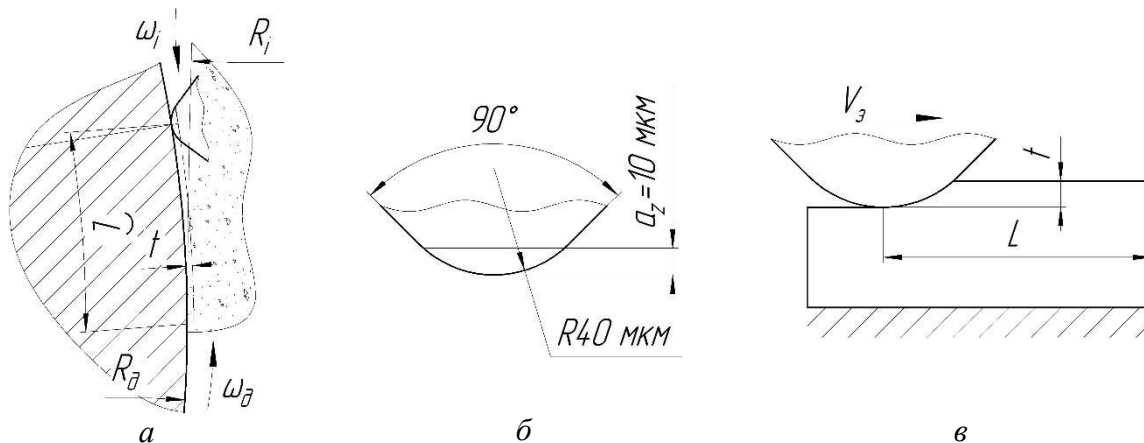


Рис. 3. Схема різанням одним абразивним зерном

3D-модель поверхонь деталі та абразивного зерна, створена в програмному пакеті Abaqus, показана на рис. 4. Для визначення значень сил різання, що діють на зерно в процесі обробки, та побудови графіків їх зміни залежно від часу роботи виділимо на зерні деякі точки 1, 2, 3.

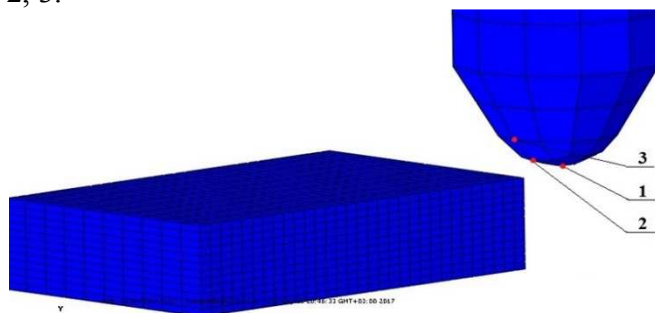
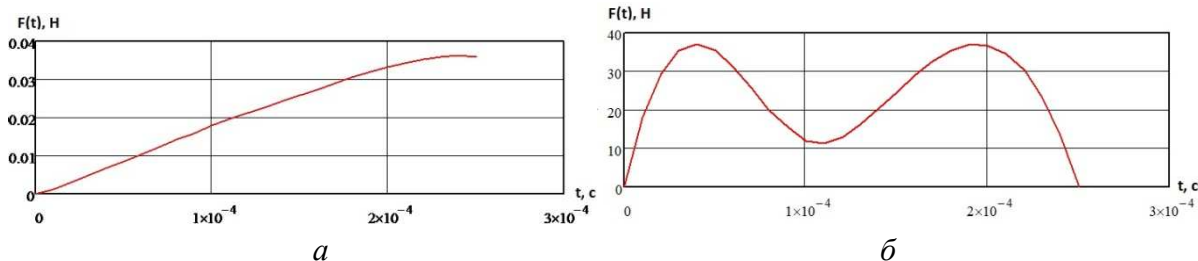
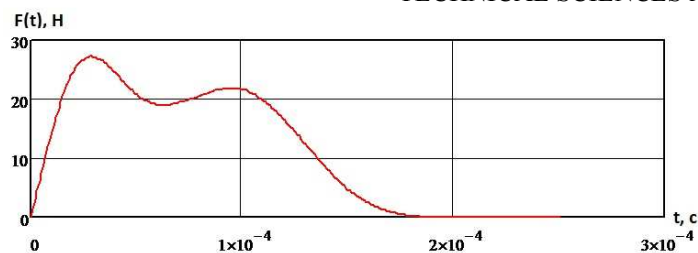


Рис. 4. 3D-модель поверхонь деталі та абразивного зерна з контрольними точками в повздовжньому перерізі

У результаті моделювання процесу різання одним зерном у пакеті Abaqus для визначених, ключових точок отримаємо графіки зміни сили залежно від часу обробки (рис. 5). При цьому на рис. 5, а зображено криву зміни навантаження на зерно залежно від часу для точки 1; на рис. 5, б – для точки 2; рис. 5, в – для точки 3.





6

Рис. 5. Графіки зміни сили, що діє на абразивне зерно залежно від часу обробки для точок повздовжнього перерізу

Також розраховуємо сили різання, що діють на зерно, для інших ключових точок (рис. 6). Результати моделювання у вигляді графіків зміни сили від часу обробки зображені на рис. 7.

На рис. 7, а зображено графік зміни сили, що діє в точці 1 (рис. 6), рис. 7, б – у точці 2, рис. 7, в – у точці 3, рис. 7, г – у точці 4.

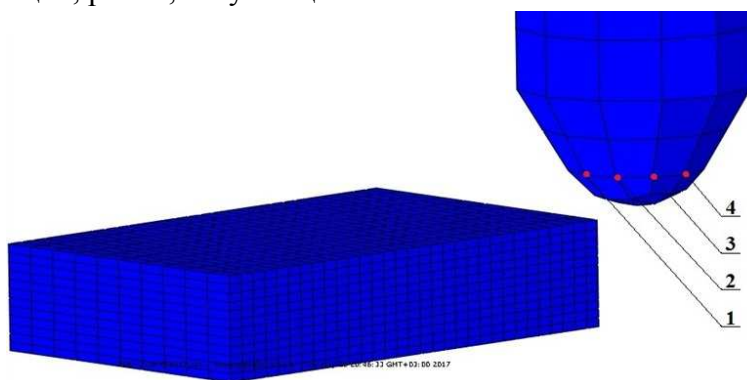


Рис. 6. 3D-модель поверхонь деталі та абразивного зерна з контрольними точками в поперечному перерізі

Графік зміни сумарної сили, що діє на зерно, залежно від часу обробки зображено на рис. 8. Також у результаті моделювання процесу шліфування одиничним абразивним зерном можна отримати та дослідити карту напружень деталі в будь-який момент часу (рис. 9), визначити форму та характер утворення риски при різанні матеріалу абразивним зерном заданої форми (рис. 9).

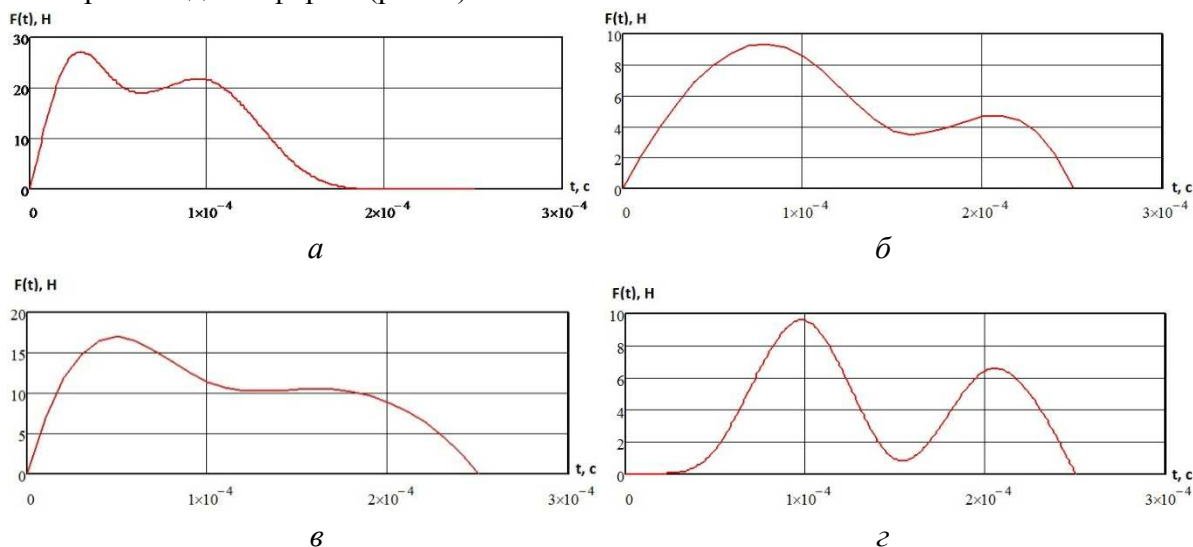


Рис. 7. Графіки зміни сили, що діє на абразивне зерно залежно від часу обробки для точок поперечного перерізу

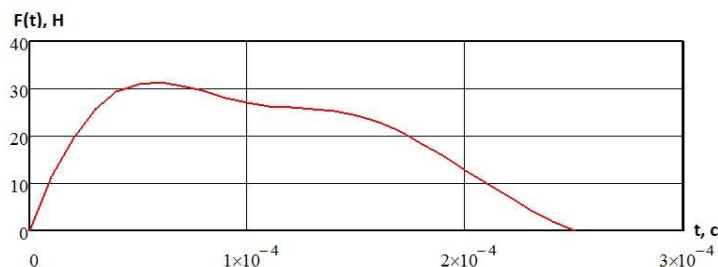


Рис. 8. Графік зміни сумарної сили різання, що діє на абразивне зерно

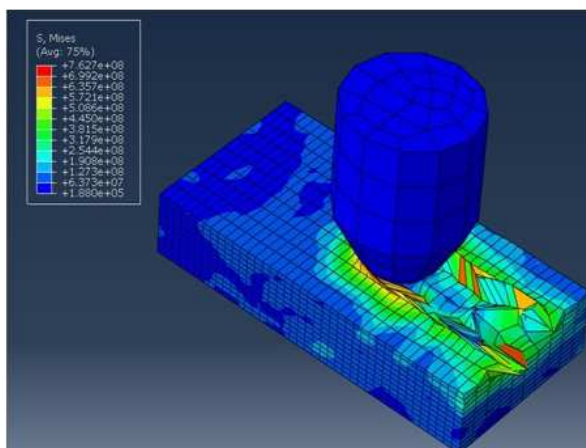


Рис. 9. Напруження поверхневого шару деталі при різанні одним зерном

Знайдемо силу різання, що діє на одичне абразивне зерно, за методикою, запропонованою Філімоновим Л. М. [1]. На окрему різальну кромку діють сили зсуву P_{cd} , тертя P_{mp} та інерції P_{un} :

$$P^r = P_{cd}^r + P_{mp}^r + P_{un}^r = \frac{\tau_s \cdot az \cdot b \cdot \sin(\beta + \phi_s)}{\sin(\beta) \cdot \sin(\phi_s)} + \frac{\pi \cdot \tau_s \cdot b^2 \cdot \mu}{12 \cdot \mu_s} + az \cdot b \cdot \rho_t \cdot V_{un}^2 \cdot \left(1 - \frac{\sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}\right), \quad (8)$$

$$P^n = P_{cd}^n + P_{mp}^n + P_{un}^n = \frac{\tau_s \cdot az \cdot b \cdot \cos(\beta + \phi_s)}{\sin(\beta) \cdot \sin(\phi_s)} + \frac{\pi \cdot \tau_s \cdot b^2}{12 \cdot \mu_s} + az \cdot b \cdot \rho_t \cdot V_{un}^2 \cdot \left(1 - \frac{\sin(\beta) \cdot \cos(\gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}\right), \quad (9)$$

де P^r , P^n – тангенціальна і нормальна сили мікрорізання одним абразивним зерном; τ_s – напруження зсуву; b – ширина площини врізання; β – кут зсуву матеріалу деталі; ϕ_s – кут тертя в площині зсуву μ_s , μ – коефіцієнти тертя в площині зсуву і на задній поверхні кромки; ρ_t – густина матеріалу заготовки; V_{un} – швидкість шліфування; γ – передній кут ріжучої кромки.

Для вказаних умов обробки отримаємо: $P^r = 9 \text{ H}$; $P^n = 20 \text{ H}$, що повністю узгоджується з попередніми розрахунками. Графіки залежності тангенціальної та нормальної складових сил різання від швидкості обробки зображені на рис. 10.

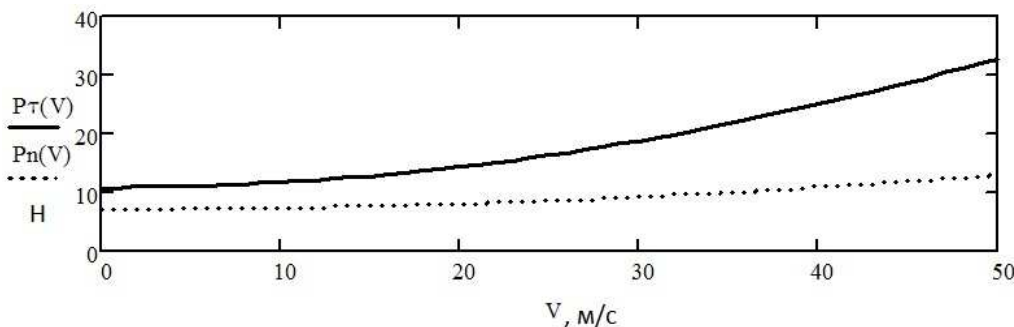


Рис. 10. Графіки залежності нормальної та тангенціальної сил різання від швидкості обробки

Висновки відповідно до статті. Проведено моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном орієнтованого інструмента поверхні заготовки в програмному пакеті Abaqus. У процесі дослідження виявлені закономірності зміни сили різання вздовж різальної кромки зерна залежно від часу роботи. Розрахована сумарна сила різання, що діє на одне абразивне зерно, з використанням методу скінченних елементів у програмному пакеті Abaqus та використовуючи експериментальні формули розрахунку в математичному пакеті Mathcad. Наведені графіки зміни нормальної та тангенціальної одиничних сил різання залежно від швидкості обробки. Спрогнозовано форму риски на поверхні деталі та визначено напруження поверхневого шару деталі в процесі шліфування. Виявлені закономірності розподілу сил різання дадуть можливість оптимального вибору режимів обробки.

Список використаних джерел

1. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, ленинградское отделение, 1979. – 248 с.
2. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.
3. Кальченко В. И. Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Сверхтвердые материалы. – 2012. – № 2. – С. 58–73.
4. Кологойда А. В. Визначення силових залежностей при заточуванні голчастої гарнітури / А. В. Кологойда // Технічні науки та технології. – 2016. – № 4 (6). – С. 70–75.
5. Computer design of finish processing of non-rigid details / Kalchenko V., Kalchenko V., & Yeroshenko A. (Eds.) // 16th World congress "Aviation in the XXI-st century" (September 23-25, 2014). – Kyiv, 2014. – Pp. 1.9.52-1.9.53.
6. Криворучко Д. В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого ; под общей ред. В. А. Залого. – Сумы : Университетская книга, 2012. – 434 с.
7. Дослідження сил різання одиничного абразивного зерна при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Н. М. Сіра, Я. В. Кужельний // Технічні науки та технології. – 2018. – № 2 (12). – С. 59–68.

References

1. Filimonov, L. N. (1979). *Vysokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie leningradskoe otdelenie [in Russian].
2. Maslov, E. N. (1974). *Teoriia shlyfovaniia materialov [The theory of grinding of materials]*. Moscow: Mashynostroenyie [in Russian].
3. Kalchenko, V. Y., Kalchenko, V. I., Pogiba, N. N. & Kalchenko, D. V. (2012). Opredelenie sostavlyayuschih silyi rezaniya pri glubinnom shlifovanii poverhnostey vrascheniya orientirovannyim elborovym krugom [Determination of the components of the cutting force for deep grinding of surfaces of revolution by an oriented elbor wheel]. *Sverkhtverdiie materialy – Super hard materials*, 2, 58–73 [in Russian].
4. Kolohoida, A. V. (2016). Vyznachennia sylovykh zalezhnostei pry zatochuvanni holchastoi harnitury [Determination of power dependencies when sharpening a needle headset]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii - Bulletin of the Chernihiv State Technological University. Technical sciences and technologies*, 4 (6), 84–88 [in Ukrainain].
5. Kalchenko, V., Kalchenko, V., & Yeroshenko A. (Eds.) (2014) Computer design of finish processing of non-rigid details, 16th World congress "Aviation in the XXI-st century". Kyiv: Ukraine [in English].
6. Krivoruchko, D. V. & Zaloga, V. A. (2012). *Modelirovanie protsessov rezaniya metodom konechnyih elementov: metodologicheskie osnovy [Modeling of finite element cutting processes: methodological foundations]*. Sumy: Universitetskaya kniga [in Russian].
7. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Sira, N. M. & Kuzhelnyi, Ya. V. (2018). Doslidzhennia syl ri-zannia odynychnoho abrazyvnoho zerna pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy kruha ta detali [Investigation of the cutting forces of a single abrasive grain when grinding with crossed axes of a circle and a part]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii - Technical sciences and technologies*, 2 (12), 59–68 [in Ukrainain].

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Kalchenko, Antonina Kolohoida, Yaroslav Kuzhelnyi
**CALCULATING THE FORCES OF CUTTING WITH A SINGLE ABRASIVE
GRAIN OF THE ORIENTED GRINDING CIRCLE**

Urgency of the research. Grinding grain is acted by single forces during the grinding by oriented circle. Determination of the real values of forces in the processing zone allows you to select the optimum grinding conditions.

Target setting. When we using empirical or computationally-empirical methods of determining the cutting forces during grinding, inaccuracies arise because of the need to determine the experimental data.

Actual scientific researches and issues analysis. A technique is proposed for calculating the cutting forces during grinding by an oriented tool that considers deforming grains in the contact zone. Software methods for calculating cutting forces that use the finite element method are common.

Uninvestigated parts of general matters defining. The methods of calculating the cutting forces that arise when grinding a oriented circle and act on one abrasive grain are not considered.

The research objective. Calculation of cutting forces that act on a single abrasive grain during grinding with the crossed axes of tools and detail. Determination of cutting forces by modeling the processing process in the Abaqus system and using the calculation-experimental method.

The statement of basic materials. Modeling of the cutting process by a single abrasive grain of the oriented tool of the workpiece surface in the software package Abaqus was carried out. The revealed regularities of the change in the cutting force along the cutting edge of the grain. The total cutting force acting on one abrasive grain is calculated using the finite element method in the Abaqus software package and using the calculation and experimental formulas in the mathematical package Mathcad.

Conclusions. The found regularities of the distribution of cutting forces will enable the optimal choice of processing modes.

Keywords: grinding; oriented tool; 3D modeling; forces of cutting; grain.

Fig.: 10. **References:** 7.

Кальченко Віталій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Vitalii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Road Transport and Industrial Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kalchenkovi@ukr.net

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

ResearcherID: G-9477-2014

Кальченко Володимир Віталійович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

E-mail: vvkalchenko74@gmail.com

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

ResearcherID: G-6752-2014

Кологойда Антоніна Вікторівна – старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kolohoida Antonina – senior teacher of Road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kolohoida@gmail.com

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

ResearcherID: I-1118-2014

Кужельний Ярослав Володимирович – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kuzhelnyi Yaroslav – PhD student of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5269-8557>

ResearcherID: J-1127-2016

УДК 621.923

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-18-29

Діана Музичка

ВПЛИВ ЗНОСУ ЗЕРЕН НА ТЕОРЕТИЧНУ ДОВЖИНУ ТВІРНОЇ ГОЛОВНОГО РІЗАЛЬНОГО КОНУСА

Актуальність теми дослідження. Підвищення продуктивності алмазного шліфування при забезпеченні якості оброблюваної поверхні та збереженні високих показників працездатності кругів є важливим завданням машинобудівного виробництва.

Постановка проблеми. Дослідження процесу зношування різальної поверхні алмазних шліфувальних кругів з метою підвищення продуктивності обробки та зниження її собівартості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень зношування робочого шару шліфувального круга в радіальному перерізі показав, що закономірності утворення робочої поверхні залежать як від виду і методу шліфування, так і від умов обробки. Зміна розмірів і геометричної форми різальної поверхні круга зумовлена зносом окремих зерен. У процесі дослідження закономірностей зносу одиничних абразивних зерен здебільшого розв'язується задача стійкості окремого зерна у зв'язці круга.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутні дослідження процесів, які одночасно поєднують у собі мікро- та макрозношування робочого шару шліфувального інструменту.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу зносу алмазних різальних зерен на теоретичну довжину твірної головного різального конусу робочого шару алмазного шліфувального круга.

Виклад основного матеріалу. Показано, що формування профілю робочої поверхні шліфувального круга залежить від умов обробки. Встановлено, що теоретична довжина твірної головного різального конуса (ГРК) є функцією від часу контакту зерна з оброблюваною поверхнею, отже, залежить від зносу різального зерна по задній поверхні. Виконано теоретичні дослідження впливу зносу алмазних зерен на довжину твірної ГРК.

Висновки відповідно до статті. Проведені дослідження показали, що зі збільшенням часу контакту зерна з оброблюваною поверхнею довжина твірної головного різального конуса збільшується незалежно від марки зв'язки, а напруженість на границі зерно-зв'язка від дії температурно-силових факторів із появою площадок зносу зростають у $3\div 7$ разів.

Ключові слова: шліфувальний круг; твірна конусу; зерно; зв'язка; напруження; зношування.

Рис.: 5. Бібл.: 32.

Актуальність теми дослідження. Алмазне шліфування дуже поширене в різних областях машинобудівної промисловості [1–4]. Застосування інструментів із традиційних абразивів при шліфуванні твердих сплавів недоцільно внаслідок швидкої втрати ними різальної здатності і, як результат, порівняно низької продуктивності обробки. Висока твердість та міцність, малі кути різання при вершинах, підвищена зносостійкість, алмазних шліфувальних кругів дозволяє істотно підвищити якість та продуктивність процесів шліфування. Поряд з цим використання алмазних кругів дає можливість знизити теплову напруженість процесу, що також сприяє високій якості та точності обробленої поверхні.

Постановка проблеми. Ефективність експлуатації абразивних інструментів, особливо з надтвердих матеріалів, значною мірою визначається витратами на інструмент, які залежать від інтенсивності зносу. Знос кругів безпосередньо впливає на вартість продукції, можливості автоматизації й темпи виробництва, а також визначає якість оброблюваних деталей. Вивчення та виявлення шляхів зниження процесу зношування різальної поверхні алмазних шліфувальних кругів дозволить підвищити продуктивність обробки та знизити її собівартість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню процесу зношування шліфувальних кругів і шляхів його зниження присвячені численні дослідження, більшість яких носять емпіричний характер і спрямовані на практичне вирішення конкретних технологічних задач. Знос шліфувальних кругів поділяється на мікрозношування, зумовлене стиранням окремих абразивних зерен і випаданням їх зі зв'язки при її руйнуванні під впливом температури і напружень, і на макрозношування, що виражається у зміні розмірів і геометричної форми різальної поверхні круга. І якщо мікрозношуванню присвячено більша частина досліджень, то досліджень макрогеометрії круга не так багато.

Як зазначає І. П. Захаренко, «геометрія різальної поверхні – один із найважливіших параметрів алмазних кругів, який визначає різальні властивості, зносостійкість останніх, температуру, силу різання, шорсткість, стан оброблених поверхонь і точність обро-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

бки. Це набуває ще більшої важливості при автоматизованих процесах шліфування, особливо при зніманні великих припусків і при методах обробки з накладенням різних видів додаткової енергії» [5].

Багато особливостей шліфування торцем круга з поздовжньою подачею визначаються макрогеометрією різальної поверхні круга. Закономірності утворення робочої поверхні алмазного шліфувального інструменту залежать як від виду і методу шліфування, так і від умов обробки.

Шліфувальному інструменту, що працює торцем із поздовжньою подачею, притаманні два види зносу: радіальний знос і знос по кромках. Співвідношення між ними для різних умов обробки неоднакові, проте в усіх випадках величина кромкового зносу вище радіального [6–8]. Також найбільший знос на кромках робочої поверхні круга незалежно від періоду роботи інструменту відзначають дослідники [3; 9; 10].

Дослідженнями [10; 11] встановлено, що існує три стадії процесу зносу: початкова, припрацювання та сталого зносу.

У початковий період після правлення шліфувального круга (перша стадія) відбувається видалення з його поверхні всіх непрацездатних зерен. Цей період характеризується інтенсивним зносом круга (осипання) [11; 12]. У цьому періоді знос відбувається переважно за рахунок мікротріскування зерен, а частка зносу від стирання незначна [11].

У період припрацювання (друга стадія) відбувається утворення ділянок, близьких до прямолінійних, з подальшим поширенням зносу до середини алмазозного шару [10; 13; 14].

У сталому періоді (третья стадія) лінійний знос робочого шару круга відзначають автори [12], на стабілізацію зносу зазначено в роботі [11]. Крім того, сталий знос характеризується утворенням профілю типової форми і з часом не змінюється [10; 15].

Типовими є трапецеїдальна форма профілю робочого шару шліфувального круга, описана в роботах [5; 16; 10; 13; 14; 17], і трикутна форма профілю робочого шару, описана в роботах [16; 14; 18].

У результаті роботи алмазного шліфувального круга в радіальному перерізі утворюється головна поверхня, розташована на довжині l_1 , під кутом φ , перехідна поверхня l_2 , паралельна оброблюваній поверхні, і допоміжна поверхня l_3 , розташована під кутом до оброблюваної поверхні (рис. 1). Відзначено, що головна поверхня алмазозного шару забезпечує рівномірну участь усіх зерен круга, які розташовані на миттєвій різальній кромці, а перехідна – зачистку поверхні, що шліфується. Допоміжна поверхня утворюється за рахунок недостатньої жорсткості системи ВПД при реверсі поздовжньої подачі стола верстата.

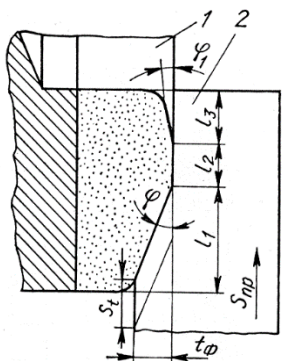


Рис. 1. Профіль круга при глибинному шліфуванні
Джерело: [17].

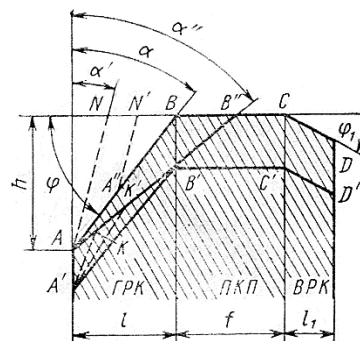


Рис. 2. Утворення профілю різальної поверхні при глибинному шліфуванні
Джерело: [13; 14].

Утворення трапецієподібного профілю при глибинному шліфуванні торцем круга (рис. 2) описано в роботах [13; 14]. Автори відзначають, що при кожному режимі для зняття припуску встановлюється певна площа різальної поверхні, яка виражається для головного різального конуса через площу бічної поверхні кола:

$$S_{\sigma}^{ГРК} = \frac{\pi h}{\sin(\phi)} \cdot \left(D - \frac{h}{\operatorname{tg}(\phi)} \right), \text{ мм}^2, \quad (1)$$

де h – глибина шліфування, мм; D – зовнішній діаметр круга, мм.

Аналогічні результати наведені в роботі [16], в якій також зазначено, що профіль круга має такі ділянки: прямий забірний конус, зворотний забірний конус і перехідний пояс. Перехідний пояс здійснює зачистку оброблюваної поверхні, знижуючи тим самим висоту мікронерівностей. У круга трикутного профілю перехідний пояс відсутній.

Зникнення перехідного кругового пояса й утворення трикутної форми різальної поверхні означає, що збільшення числа активних різальних зерен за рахунок вступу в процес обробки головного різального конуса більшої площі стає неможливим. Таким чином, резерв площі різальної поверхні круга вичерпується.

У роботі [13] автори встановили, що існує певна межа між зоною роботи круга з резервом площі різальної поверхні й зоною прискореного зношування, за яким експлуатація абразивного інструменту недоцільна, оскільки змінюється механізм його зношування – перехід від мікрОВикришування і викришування до виривання зерен зі зв'язки.

Таким чином, зміна розмірів і геометричної форми різальної поверхні круга зумовлена зносом окремих зерен.

Характер зносу робочої поверхні алмазозносного круга перебуває в прямій залежності від співвідношення інтенсивності зносу алмазів та інтенсивності зносу зв'язки. Автори [17; 18] встановили, що існує три характерних ситуації:

а) якщо інтенсивність зносу алмазів менше інтенсивності зносу зв'язки, то алмази вириваються зі зв'язки і відбувається втрата майже незношених алмазів. Це приводить до незначного використання їх різальних властивостей. Поверхня круга при цьому постійно оновлюється та має гарну різальну здатність, але при цьому й підвищену витрату алмазів;

б) якщо інтенсивність зносу алмазів дорівнює інтенсивності зносу зв'язки, то висота виступання зерен постійно підтримується на певному рівні, статистичні характеристики параметрів рельєфу змінюються незначно, стабільно зберігається висока різальна здатність круга при незначному його зношуванні. У цьому випадку круг буде працювати в режимі самозаточування;

в) якщо інтенсивність зносу алмазів більше інтенсивності зносу зв'язки, то оновлення різальної поверхні недостатньо. У процесі роботи інструменту висота виступання зерен зі зв'язки зменшується аж до повного затуплення і засалювання круга. При цьому внаслідок тертя зв'язки об оброблювану поверхню виникають значні сили різання й підвищується температура.

Отже, знос круга залежить насамперед від якості використовуваних алмазів і міцності утримання їх зв'язкою.

Для визначення та прогнозування зносу шліфувального інструмента необхідно розглядати закономірності зносу одиничних абразивних зерен. Знос алмазного зерна може відбуватися шляхом механічного руйнування, виривання зерен зі зв'язки і стирання з утворенням площадок зносу [19–22 та ін.]. На переважання того чи іншого виду зносу впливають умови шліфування. Дослідження Л. Л. Мішнаєвського [21] показали, що зношування зерна відбувається переважно внаслідок його механічного руйнування, а не стирання; щонайменше 64 % зношування зумовлено розколюванням.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Утворення площадок зносу при обробці різних за твердістю матеріалів (швидкорізальних сталей, твердих сплавів, кераміки, НТМ) також підтверджується дослідженнями [21–28 та ін.]. Авторами [9] проведені експерименти з визначення параметрів різального рельєфу алмазного круга АЧК 150×10×3×32 АСВ 125/100 МВ1 100 % при шліфуванні полікристалів АСБ. Встановлено, що через 20 хв від початку обробки після правки круга кількість гострих зерен зменшилося з 94 до 8 %, кількість зерен з площадками зносу збільшилося з 6 до 79 %, а кількість зерен, які випали, становила 13 %.

Поява значних за площею зношених площадок на задній поверхні абразивного зерна з кутом $\alpha = 0$ і неможливість керування (заточування) цим кутом веде до високих локальних тисків по задній поверхні, підвищення температури в зоні шліфування та появи прижогів на обробленій поверхні [29]. Автори [25; 30] зауважують, що головне джерело тепла – робота тертя на контактних площадках зерен з оброблювальним матеріалом у поєднанні з високими тисками в контакті.

Площадка зносу утворюється на одиничній різальній кромці вже при першому її контакті з оброблювальним матеріалом [23; 27]. У початковий момент часу роботи попередньо розкритого круга все навантаження приходить на зерна, що найбільше виступають. У міру їх зношування в роботу вступають зерна, розташовані в нижніх шарах. Кількість зерен на робочій поверхні збільшується, а навантаження на кожне зерно зменшується, що призводить до збільшення площадок зносу. Утворення площадки зносу різко знижує здатність зерна до мікроруйнування у вершини (самозаточування). Тертя зерен по оброблюваній поверхні буде відбуватися до моменту руйнування зв'язки та випадання зерен із неї. За умови видалення зв'язки процес, що розглядається, буде відбуватися періодично.

Щоб уникнути затуплення зерен, необхідно або збільшити навантаження до величини, достатньої для самозаточування зерен, які контактують, або зменшити їх кількість при тій же робочій висоті.

Інтенсивність зносу зерна зумовлена його властивостями міцності. Автори [21; 22; 26] вважають, що при більшій міцності алмазів, яка запобігає їх руйнуванню (самозаточування), суттєво збільшуються площадки зносу, спостерігається об'ємне руйнування і випадання зерен зі зв'язки. При використанні менш міцних алмазів площадки на них менші за розмірами, а зерна, руйнуючись, самозаточуються з утворенням нових різальних кромок та продовжують працювати.

Механізми зносу зерен марок АС2 та АС6 відрізняються. На відміну від зерен марки АС2 переважним видом зносу досить міцних зерен марки АС6 слід вважати стирання [31]. Автори також відзначають наявність площадок зносу на алмазних зернах кругів АС4 200/160–50%–М1 та АСР 315/250–50%–М1.

Для ефективного використання різальних властивостей алмазних зерен важливі умови їх закріплення, які в інструменті здебільшого визначаються властивостями зв'язки. Важливими властивостями з погляду утримання зерен у зв'язці є її міцність і зносостійкість. З одного боку, зв'язка повинна бути досить міцною, щоб утримувати зерна при прикладанні до них тангенціальних сил, а з іншого – зношуватися для забезпечення постійного оновлення різальних кромок алмазних зерен.

Якщо зв'язка має знижену зносостійкість, то алмазні зерна будуть передчасно випадати з неї, у результаті чого стійкість шліфувального інструменту буде зниженою. Якщо зносостійкість зв'язки буде підвищеною, то зерна будуть зношуватися з появою значних майданчиків зносу. У цьому випадку засалювання й затуплення інструменту призведе до втрати його різальних властивостей.

Отже, для ефективної роботи інструменту зв'язка повинна мати оптимальну зносостійкість, що дозволяє інструменту працювати в режимі самозаточування.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз показав, що дослідження процесів, які поєднують у собі макро- та мікрозношування робочого шару шліфувального інструменту одночасно, відсутні.

Постановка завдання (мета статті). Метою цієї статті є дослідження впливу зносу алмазних різальних зерен на теоретичну довжину твірної головного різального конуса робочого шару алмазного шліфувального круга.

Виклад основного матеріалу. Закономірності формування профілю робочої поверхні шліфувального круга залежать від умов обробки. Після періоду припрацювання кут нахилів твірних профілю в радіальному перерізі не змінюються, і шорсткість обробленої поверхні є постійною. Отже, профіль робочої поверхні шліфувального круга пристосовується до умов здійснення процесу різання з мінімальними енергетичними витратами і шліфувальний круг працює з мінімальним зносом. Знос круга визначається стійкістю зерна у зв'язці круга, яка залежить від умов його роботи.

Якщо дійсні напруження на границі зерно–зв'язка перевищують межу міцності на стиск зв'язки круга $\sigma_{\Sigma} \geq [\sigma_{сж}]$, то круг працює в режимі підвищеного зносу. У цьому випадку відбувається порушення стійкості зерна і виривання його зі зв'язки круга з частковим руйнуванням зв'язки і регенерацією різальної поверхні. Форма профілю круга при цьому набуває вигляду, показаного на рис. 3, б, і складається з головного різального конуса (ГРК) і допоміжного різального конуса (ДРК).

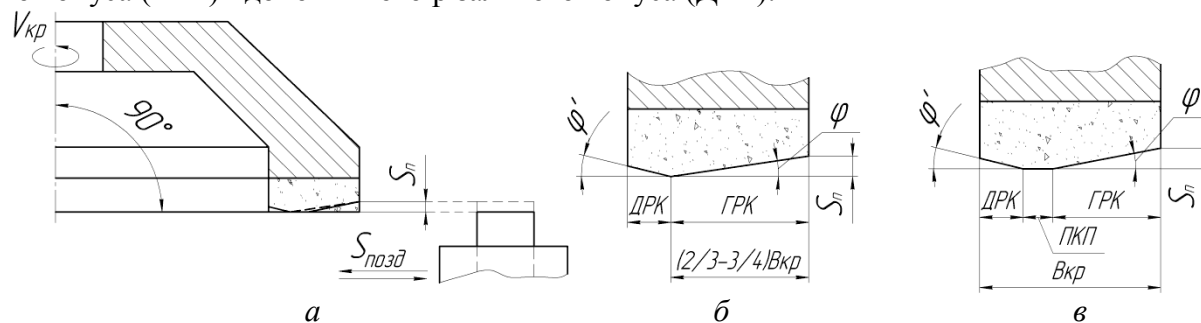


Рис. 3. Форма профілю круга:

а – схема різання; б – профіль при роботі круга в режимі самозаточування;
в – профіль круга в режимі, що вимагає примусової правки

Якщо ширина шліфувального круга $V_{кр}$ не мала б конструктивних обмежень, то довжина твірної ГРК відповідала б умовам роботи зерна при оптимальному його закладенні в зв'язці $\varepsilon = 0,7 \div 0,75$. У цьому випадку знос шліфувального круга був би оптимальним за умови самозаточування інструменту і ширина шліфувального круга повинна була б дорівнювати величині довжини твірної ГРК.

Якщо дійсні напруження на границі зерно–зв'язка не перевищують межі міцності на стиск зв'язки круга $\sigma_{\Sigma} < [\sigma_{сж}]$, то абразивний або адгезійний знос зерен переважає над вириванням їх зі зв'язки і втрата різальної здатності шліфувального круга відбувається внаслідок стирання зерен. У цьому випадку форма профілю круга має вигляд, показаний на рис. 3, в, і для відновлення різальної здатності потрібна примусова правка круга, що можливо при роботі шліфувального круга з низькою продуктивністю. Довжина твірної ГРК буде менше ширини круга $V_{кр}$, що приведе до наявності перехідного кругового пояса (ПКП) і відносний знос шліфувального круга визначиться як знос у результаті стирання зерен. З одного боку, при такій продуктивності і профілі круга досягається зниження шорсткості оброблених поверхонь та підвищення точності обробки, з іншого боку, шліфувальний круг вимагає примусового правлення.

Передбачається, що ефективне використання абразивного інструменту можливе при підборі таких характеристик шліфувальних кругів і режимів різання, за яких інструмент працюватиме в режимі самозаточування. Затуплені в процесі шліфування зерна поки-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

дають робочу поверхню круга й у роботу вступають зерна, розташовані в глибших шарах зв'язки. При цьому необхідною умовою є руйнування зв'язки пропорційно втраті стійкості затуплених зерен.

Головна умова роботи круга в режимі самозаточування – це рівність напружень від температурно-силових факторів, які діють на границі зерно–зв'язка, і межі міцності на стискання зв'язки круга:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_F + \sigma_{\theta} = [\sigma_{\text{сюз}}].$$

Методика розрахунку теоретичної довжини твірної головного різального конуса як функції від напружень, діючих на межі зерно–зв'язка, представлена в роботі [32]. Встановлено, що довжина твірної ГРК залежить від умов обробки, а, точніше, від стійкості шліфувального інструменту, яка визначається навантаженнями на різальні зерна. Навантаження на зерна пропорційні інтенсивності процесу зрізання оброблюваного матеріалу. При цьому сумарні напруження від дії температурно-силових факторів можна представити як функцію від кута нахилу твірної ГРК або її довжини:

$$\sigma_{\Sigma} = f(\varphi); \quad \sigma_{\Sigma} = f(L_{ГРК}). \quad (2)$$

У роботі [28] досліджено стійкість зерна у зв'язці круга з урахуванням його зносу по задній поверхні. Зношування зерна представлено як стирання вершини зерна за рахунок ослаблення міцнісних характеристик абразиву при великій швидкості деформації та високій температурі контакту. Знос зерна по задній поверхні представлено як функцію від часу контакту зерна з оброблюваною деталлю. Встановлено, що поява площадок зносу на різальних зернах призводить до збільшення напружень, що діють на границі зерно–зв'язка. Оскільки сумарні напруження залежать від зносу зерна, тоді вони також є функцією від часу контакту зерна з оброблюваною деталлю.

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що теоретична довжина твірної ГРК також є функцією від часу контакту зерна з оброблюваним матеріалом, а отже, залежить від зносу різального зерна по задній поверхні.

Для дослідження впливу зносу різальних зерен протягом певного часу контакту зерна з оброблюваною поверхнею за розробленою методикою формоутворення різальної поверхні алмазних кругів моделювалася обробка твердих сплавів ВК6 та Т15К6 висотою 10 мм кругами типу 12А45° розмірами 125×32×10×3 з алмазами АС6 зернистістю 100/80 100 %-ої концентрації на полімерній В2-01 та металевих М1-04 і М2-01 зв'язках. При цьому прийняті такі режими різання (крім параметрів, які змінюються в досліджуваних діапазонах): швидкість різання $V = 20$ м/с; поздовжня подача $S_{np} = 0,6$ м/хв; поперечна подача $S_n = 0,1$ мм/подв. хід. Продуктивність обробки варіювалася у межах від 50 до 1800 мм³/хв.

Зіставляючи розраховану теоретичну довжину твірної ГРК напруженням, які діють на границі зерно–зв'язка від температурно-силових факторів, отримаємо криві, що визначають зносостійкість кругів із заданими розмірами і характеристиками на полімерній В2-01 і металевих зв'язках М1-04 і М2-01 для обробки твердих сплавів ВК6 і Т15К6 з продуктивністю 600 мм³/хв (рис. 4).

Аналіз отриманих кривих показав, що найбільш зношеною буде полімерна зв'язка В2-01, у якій інтенсивність зростання довжини твірної ГРК більше, ніж у розглянутих металевих зв'язок: при збільшенні напружень з 234 МПа до 334 МПа довжина твірної збільшиться у 2,5 раза при обробці твердого сплаву Т15К6 та у 1,8 раза при обробці ВК6. Найбільш зносостійкою буде зв'язка М2-01, у якій при тому же збільшенні напружень (з 471 МПа до 571 МПа) довжина твірної збільшиться у 1,2 та 1,1 раза відповідно. Зв'язка М1-04 займає проміжне положення: збільшення напружень на границі зерно–зв'язка з 789 МПа до 889 МПа викликає збільшення довжини теоретичної твірної ГРК у 1,4 раза при обробці сплаву Т15К6 та 1,2 рази при обробці ВК6.

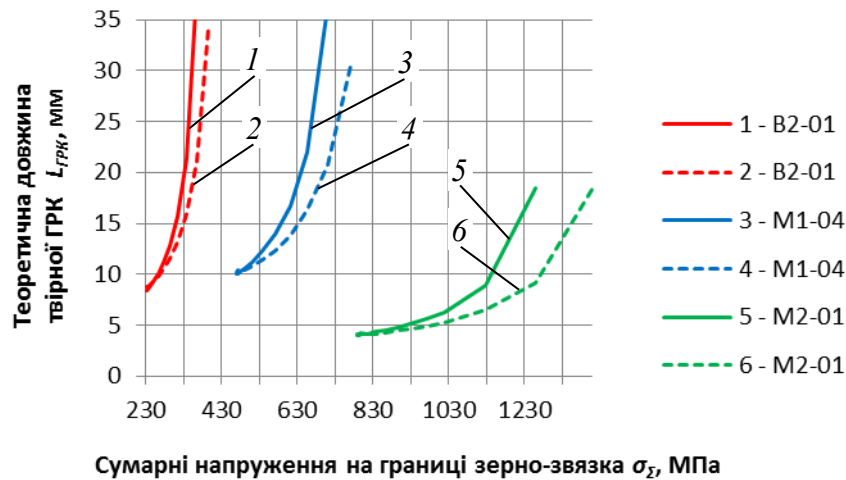


Рис. 4. Залежність теоретичної довжини твірної ГРК від напружень на границі зерно-зв'язка при обробці твердих сплавів Т15К6 (—) та ВК6 (- - -) з продуктивністю 600 мм³/хв

При обробці твердого сплаву Т15К6 знос кругів на зв'язках, які розглядаються, буде вище, ніж при обробці сплаву ВК6, що пояснюється більш низькими коефіцієнтами тепло- і температуропровідності у порівнянні зі сплавом ВК6.

Теоретичні дослідження впливу зносу алмазних зерен на довжину твірної ГРК шліфувального круга в радіальному перерізі показали, що в міру збільшення часу контактування зерен з оброблюваною поверхнею довжина твірної ГРК зростає незалежно від марок зв'язок (рис. 5, а). Зростання оптимальної теоретичної довжини твірної ГРК пов'язано зі зростанням сумарних напружень від дії силового і температурного факторів у міру зношування алмазних зерен. У результаті тертя по задній поверхні різального зерна на ній утворюються площадки зносу. Сила тертя, як було показано у [29], не залежить від нормальної складової сили різання і для даних умов контактування визначається площею площадки зносу зерна з оброблюваним матеріалом.

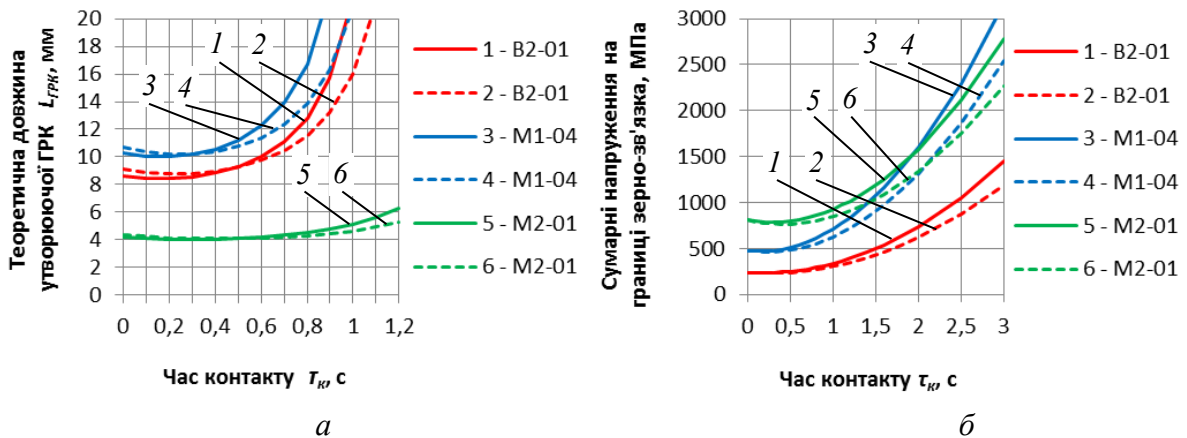


Рис. 5. Вплив часу контакту зерна з оброблюваним матеріалом на довжину твірної ГРК (а) і напруження на границі зерно-зв'язка (б) при обробці твердих сплавів Т15К6 (—) і ВК6 (- - -)

На рис. 5, б представлені графіки напружень на границі зерно-зв'язка залежно від часу контакту зерна з оброблюваним матеріалом. У початковий період напруження на границі зерно-зв'язка монотонно зменшуються, що пов'язано зі збільшенням дійсного коефіцієнта закладення зерна в зв'язці круга внаслідок зменшення виступаючої частини

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

зерна (зношування). Збільшення коефіцієнта закладення призводить до збільшення кількості робочих зерен і, отже, до зменшення середньоїмовірної товщини шару, що зрізується одним зерном. Таким чином, дія силового фактора по передній поверхні зменшується більш інтенсивно, ніж зростає вплив силового фактора по задній поверхні при збільшенні площадок зносу.

Протягом часу безперервного контакту зерна з оброблюваною поверхнею дія силового фактора по задній поверхні починає превалювати над дією силового фактора по передній поверхні й напруження на границі зерно–зв'язка монотонно зростають. Різке зростання напружень на границі зерно–зв'язка пов'язано з законом розподілу тепла, з якого випливає, що температура в точці тіла експоненціально залежить від відстані до теплового джерела. Тому незважаючи на те, що щільність теплового потоку по задній поверхні постійна і не залежить від площадок зносу, напруження від температурного фактора з певного моменту часу перевищують напруження від силового фактора, а їх співвідношення зростає в міру збільшення дійсного коефіцієнта закладення зерна.

Висновки відповідно до статті. Встановлено, що макрозношування різальної поверхні шліфувального круга залежить від умов зносу окремих алмазних зерен. Зі збільшенням часу контакту зерна з оброблюваною поверхнею довжина твірної ГРК збільшується незалежно від марки зв'язки. Уперше проведено порівняння напружень, що виникають на границі зерно–зв'язка від дії температурно-силових факторів, для гострого і зношеного зерна та встановлено, що з появою площадок зносу напруження зростають у $3\div 7$ разів.

Список використаних джерел

1. *Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник* / под ред. А. Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 392 с.
2. *Корчак С. Н.* Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М. : Машиностроение, 1974. – 280 с.
3. *Попов С. А.* Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С. А. Попов, Н. П. Малевский, Л. М. Терещенко. – М. : Машиностроение, 1977. – 314 с.
4. *Силин С. С.* Оптимизация технологии глубинного шлифования / С. С. Силин, Б. Н. Леонов, В. А. Хрульков. – М. : Машиностроение, 1989. – 120 с.
5. *Захаренко И. П.* Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И. П. Захаренко. – К. : Наук. думка, 1981. – 300 с.
6. *Salje E.* Verschleisskenngrößen und ihre Bedeutung zur Beschreibung und Bewertung von Schleifprozessen / Salje E., Mushardt H., Damlos H. // Schleifen Honen, Lappen und Polieren. Verf. und Maschinen. 50. Ausg. – Essen, 1981. – С. 110–117.
7. *Victor H. R.* Spanende Fertigungsverfahren II Teil 3: Schleifen. Verfahrenskenngrößen / Victor H. R., Müller M., Opferkuch R. // Werkstatttechnik. – 1982. – 72. – № 5. – С. 289–293.
8. *Тюльпинова Н. В.* Форма равномерно изнашивающейся рабочей поверхности шлифовального круга / Н. В. Тюльпинова, Д. С. Овсянников, И. И. Малиновский // Вестник БГТУ. – 2010. – № 3. – С. 21–25.
9. *Захаренко И. П.* Алмазные инструменты и процессы обработки / И. П. Захаренко. – К. : Техника, 1980. – 215 с.
10. *Семушин Ф. В.* Износ кругов при торцовом алмазно-электролитическом шлифовании постоянных магнитов / Ф. В. Семушин, В. Д. Охтеня // Сверхтвердые материалы. – 1982. – № 3. – С. 57–62.
11. *Левченко Е. А.* Экспериментальные исследования радиального износа отрезного круга при абразивной разрезке труб / Е. А. Левченко // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2013. – Вип. 139. – С. 148–153.
12. *Глубинное шлифование Т-образных пазов* / П. В. Тимофеев, Ю. А. Сизый, А. Ф. Сулий, А. А. Токарь // Резание и инструмент. – 1979. – № 20. – С. 70–74.
13. *Захаренко И. П.* Глубинное шлифование кругами из сверхтвердых материалов / И. П. Захаренко, Ю. Я. Савченко, В. И. Лавриненко. – М. : Машиностроение, 1988. – 56 с.

14. *Лавриненко В. И.* Электрошлифование инструментальных материалов / В. И. Лавриненко. – К. : Наук. Думка, 1993. – 156 с.
15. *Захаренко И. П.* Алмазно-электролитическая обработка инструмента / И. П. Захаренко, Ю. Я. Савченко. – К. : Наук. думка, 1978. – 224 с.
16. *Захаренко И. П.* Прогрессивные методы абразивной обработки металлов / И. П. Захаренко, Ю. А. Савченко, В. И. Лавриненко, С. М. Дегтяренко. – К. : Техника, 1990. – 152 с.
17. *Рыбицкий В. А.* Алмазное шлифование твердых сплавов / В. А. Рыбицкий. – К. : Наук. думка, 1980. – 224 с.
18. *Работоспособность алмазных кругов при торцовом глубинном шлифовании безвольфрамового твердого сплава ТН20* / И. П. Захаренко, Ю. Я. Савченко, С. М. Дегтяренко, Е. Н. Зубанев // Резание и инструмент. – 1986. – № 35. – С. 6–8.
19. *Лоладзе Т. Н.* Износ алмазов и алмазных кругов / Т. Н. Лоладзе, Г. В. Бокучава. – М. : Машиностроение, 1967. – 112 с.
20. *Носенко В. А.* Исследование влияния твердости абразивного инструмента на вероятности видов изнашивания вершин зёрен круга / В. А. Носенко, М. В. Даниленко // 8-я науч.-практ. конф. проф.-препод. состава ВПИ (филиал) ВолгГТУ (Волжский, 29–30 янв. 2009 г.). – Волгоград, 2009. – С. 72–73.
21. *Мишнаевский Л. Л.* Износ шлифовальных кругов / Л. Л. Мишнаевский. – К. : Наукова думка, 1982. – 192 с.
22. *Мишнаевский Л. Л.* О механизме износа зерен шлифовальных кругов / Л. Л. Мишнаевский, О. Б. Федосеев // Синтетические алмазы. – Киев, 1979. – № 1. – С. 34–38.
23. *Кузнецов А. А.* Определение силы резания, действующей на единичную режущую кромку изношенного абразивного зерна / А. А. Кузнецов, В. В. Федотов // Труды IV Всероссийской конференции-семинара «Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы» (Сызрань, 22 мая 2009 г.) – Самара : Из-во СамГТУ, 2009. – Режим доступа: http://www.sstu.syzran.ru/MECHFAK/downloads/ntt/kuznecov_fedotov.pdf.
24. *Тюрин А. А.* Определение глубины резания единичного абразивного зерна при суперфинишной обработке / А. А. Тюрин, А. В. Королев, А. А. Королев // Технология машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 17–23.
25. *Грабченко А. И.* Тепловые явления в процессах алмазного шлифования сверхтвердых материалов / А. И. Грабченко, Е. В. Островерх // Резание и инструмент. – 1986. – № 35. – С. 3–6.
26. *Мишнаевский Л. Л.* Влияние износа зерен на профиль рабочей поверхности кругов / Л. Л. Мишнаевский, А. Н. Карпусь // Сверхтвердые материалы. – 1981. – № 4. – С. 53–57.
27. *Новиков Ф. В.* Теоретический анализ износа и стабилизации рельефа алмазного круга / Новиков Ф. В. // Резание и инструмент. – 1986. – № 36. – С. 104–110.
28. *Грабченко А. И.* Аналитическое исследование разрушения алмазных зерен при шлифовании СТМ / А. И. Грабченко, В. В. Русанов, В. А. Федорович // Резание и инструмент. – 1983. – № 30. – С. 3–7.
29. *Солод В. Ю.* Исследование устойчивости зерна в связке круга с учетом его износа по задней поверхности / В. Ю. Солод, Д. Г. Музыка // Системные технологии. – Днепропетровск, 2001. – Вып. 2 (13) – С. 168–174.
30. *Семко М. Ф.* Основы алмазного шлифования / М. Ф. Семко, А. И. Грабченко, А. Ф. Раб, М. Д. Узунян, М. С. Пивоваров. – К. : Техніка, 1978. – 192 с.
31. *Семко М. Ф.* Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / М. Ф. Семко, А. И. Грабченко, М. Г. Ходоревский. – Х. : Вища шк., 1980. – 192 с.
32. *Музыка Д. Г.* Прогнозирование показателей работоспособности алмазного шлифовального инструмента. / Д. Г. Музыка // Математичні проблеми технічної механіки: матер. Міжнародної наукової конференції, 14-17 квітня 2015 р., м. Дніпродзержинськ-Черкаси. – Дніпродзержинськ, 2015. – С. 127–128.

References

1. Reznikov, A. N. (Ed). (1977). *Abrazivnaia i almaznaia obrabotka materialov. Spravochnik [Abrasive and diamond materials processing. Reference book]*. Moskow: Mashinostroenie [in Russian].
2. Korchak, S. N. (1974). *Proizvoditelnost protcessa shlifovaniia stalnykh detalei [Productivity of the the grinding process of steel parts]*. Moskow: Mashinostroenie [in Russian].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Popov, S. A., Malevskii, N. P., Tereshchenko, L. M. (1977). *Almazno-abrazivnaia obrabotka metallov i tverdykh splavov [Diamond and abrasive metals and hard alloys processing]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
4. Silin, S. S., Leonov, B. N., Khrulkov, V. A. (1989). *Optimizatsiia tekhnologii glubinnoho shlifovaniia [Optimization of deep grinding technology]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Zakharenko, I. P. (1981). *Osnovy almaznoi obrabotki tverdospavnogo instrumenta [The basis of diamond machining of carbide tools]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
6. Salje, E., Mushardt, H., Damlos, H. (1981). Verschleisskenngrößen und ihre Bedeutung zur Beschreibung und Bewertung von Schleifprozessen [*Wear characteristics and their significance for describing and evaluating of grinding processes*]. *Schleifen Honen, Lappen und Polieren. Verfahr. und Maschinen*, 50, Ausg., Essen, 110–117.
7. Victor, H. R., Müller, M., Opferkuch, R. (1982). Spanende Fertigungsverfahren II Teil 3: Schleifen. Verfahrenskenngrößen [*Machining processes II. Part 3: Grinding. Performance characteristics*]. *Werkstattstechnik*, 72 (5), 289–293.
8. Tiulpinova, N. V., Ovsiannikov, D. S., Malinovskii, I. I. (2010). Forma ravnomerno iznashivaiushcheisia rabochei poverkhnosti shlifovalnogo kruga [The shape of equal deteriorating of grinding wheel work surface]. *Vestnik BGTU – Bulletin of BSTU*, 3, 21–25 [in Russian].
9. Zakharenko, I. P. (1980). *Almaznye instrumenty i protsessy obrabotki [Diamond tools and machining processes]*. Kyiv: Tekhnika [in Russian].
10. Semushin, F. V., Okhten, V. D. (1982). Iznos krugov pri tortcovom almazno-elektroliticheskom shlifovanii postoiannykh magnetov [*Wheels wearing with the face diamond-electrolytic permanent magnets grinding*]. *Sverkhтвердые материалы*, 3, 57–62 [in Russian].
11. Levchenko, E. A. (2013). Eksperimentalnye issledovaniia radialnogo iznosa otreznogo kruga pri abrazivnoi razrezke trub [*Experimental researches of radial depreciation of cutting wheel with the use of abrasive cutting of pipes*]. *Visnik SevNTU. Serii: Mashinopriladobuduvannia ta transport – Visnyk SevNTU. Series: Machinery and equipment and transport*, 139, 148–153 [in Russian].
12. Timofeev, P. V., Sizyi, Iu. A., Sulii, A. F., Tokar, A. A. (1979). Glubinnoe shlifovanie T-obraznykh pazov [*Deep grinding of T-shaped grooves*]. *Rezanie i instrument*, 20, 70–74 [in Russian].
13. Zakharenko, I. P., Savchenko, Iu. Ia., Lavrinenko, V. I. (1988). *Glubinnoe shlifovanie krugami iz sverkhтвердых материалов [Deep gridding of superhard materials wheels]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
14. Lavrinenko, V. I. (1993). *Elektroshlifovanie instrumentalnykh materialov [Electrical gridding of tool materials]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
15. Zakharenko, I. P., Savchenko, Iu. Ia. (1978). *Almazno-elektroliticheskaia obrabotka instrumenta [Diamond electrolytic machining of tool]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
16. Zakharenko, I. P., Savchenko, Iu. A., Lavrinenko, V. I., Degtiarenko, S. M. (1990). *Progressivnye metody abrazivnoi obrabotki metallov [Progressive methods of abrasive machining of metals]*. Kyiv: Tekhnika [in Russian].
17. Rybitckii, V. A. (1980). *Almaznoe shlifovanie tverdykh splavov [Diamond grinding of hard alloys]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
18. Zakharenko, I. P., Savchenko, Iu. Ia., Degtiarenko, S. M., Zubanev, E. N. (1986). Rabotosposobnost almaznykh krugov pri tortcovom glubinnom shlifovanii bezvolframovogo tverdogo splava TN20 [*The efficiency of diamond wheels with the use of face deep grinding of tungsten-free hard alloys TN20*]. *Rezanie i instrument – Cutting and tooling*, 35, 6–8 [in Russian].
19. Loladze, T. N., Bokuchava, G. V. (1967). *Iznos almazov i almaznykh krugov [The wearing of diamonds and diamond wheels]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
20. Nosenko, V. A., Danilenko, M. V. (2009). Issledovanie vliianiia tverdosti abrazivnogo instrumenta na veroiatnosti vidov iznashivaniia vershin zeren kruga [Research of abrasive tool harness influence on the probabilities of circles grain tops wearing kinds]. *8-aia nauchno-prakticheskaia konferentsiia profesorsko-prepodavatel'skogo sostava VPI (filial) VolgGTU – VIII Scientific and Practical Conference of professors and teaching staff VPI (filial) VolgSTU*. (Volzhskii, January 29–30, 2009). Volgograd. Pp. 72–73 [in Russian].
21. Mishnaevskii, L. L. (1982). *Iznos shlifovalnykh krugov [The wearing of grinding wheels]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].

22. Mishnaevskii, L. L., Fedoseev, O. B. (1979). O mekhanizme iznosa zeren shlifovalnykh krugov [About grains of grinding wheels wearing mechanism]. *Sinteticheskie almazy – Synthetic Diamonds*, 1, 34–38 [in Russian].

23. Kuznetsov, A. A., Fedotov, V. V. (2009). Opredelenie sily rezaniia, deistvuiushchei na edinichnuiu rezhushchuiu kromku iznoshennogo abrazivnogo zerna [The cutting force determination which operates on single cutting edge of already worn abrasive grain]. *Trudy IV Vserossiiskogo konferentsii-seminara «Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo: problemy i perspektivy» – IV All-Russian Conference and Seminar «Scientific and technical creativity: problems and perspectives»* (Syzran, May 22, 2009). Samara: Izdatelstvo SamGTU. Retrieved from http://www.sstu.syzran.ru/MECHFAK/downloads/ntt/kuznecov_fedotov.pdf.

24. Tiurin, A. A., Korolev, A. V., Korolev, A. A. (2010). Opredelenie glubiny rezaniia edinichnogo abrazivnogo zerna pri superfinishnoi obrabotke [The determination of the single abrasive grain cut depth with the use of superfinishing machining]. *Tekhnologiya mashinostroeniia – Engineering technology*, 6, 17–23 [in Russian].

25. Grabchenko, A. I., Ostroverkh, E. V. (1986). Teplovyie iavleniia v protsessakh almaznogo shlifovaniia sverkhтвердыkh materialov [Heat phenomena in diamond grinding of superhard materials processes]. *Rezanie i instrument – Cutting and tooling*, 35, 3–6 [in Russian].

26. Mishnaevskii, L. L., Karpus, A. N. (1981). Vliianie iznosa zeren na profil rabochei poverkhnosti krugov [The influence of grain wearing on the cutting surface of wheels forming]. *Sverkhтвердые материалы – Super hard materials*, 4, 53–57 [in Russian].

27. Novikov, F. V. (1986). Teoreticheskii analiz iznosa i stabilizatsii relefa almaznogo kruga [Theoretical analysis of diamond wheel wear and stabilization]. *Rezanie i instrument – Cutting and tooling*, 36, 104–110 [in Russian].

28. Grabchenko, A. I., Rusanov, V. V., Fedorovich, V. A. (1983). Analiticheskoe issledovanie razrusheniia almaznykh zeren pri shlifovanii STM [Analytical research of diamond grains destruction by superhard materials grinding]. *Rezanie i instrument – Cutting and tooling*, 30, 3–7 [in Russian].

29. Solod, V. Iu., Muzychka, D. G. (2001). Issledovanie ustoichivosti zerna v sviazke kruga s uchetom ego iznosa po zadnei poverkhnosti [The research of the grain stability in a bundle of wheel taking into account its wear and tear along the posterior surface]. *Sistemnye tekhnologii – System technology*, 2 (13), 168–174 [in Russian].

30. Semko, M. F., Grabchenko, A. I., Rab, A. F., Uzunian, M. D., Pivovarov, M. S. (1978). *Osnovy almaznogo shlifovaniia [The basics of diamond grinding]*. Kyiv: Tekhnika [in Russian].

31. Semko, M. F., Grabchenko, A. I., Khodorevskii, M. G. (1980). *Almaznoe shlifovanie sinteticheskikh sverkhтвердыkh materialov [Diamond grinding of synthetic superhard materials]*. Kharkov: Vishcha shkola [in Russian].

32. Muzychka, D. G. (2015). Prognozirovanie pokazatelei rabotosposobnosti almaznogo shlifovalnogo instrumenta [Prediction of indicators of diamond grinding tool efficiency]. Proceeding from *Matematichni problemi tekhnichnoi mekhaniki: mater. Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii – Mathematical problems of technical mechanics: materials of the International Scientific Conference* (Dniprodzerzhinsk-Cherkasi, April 14–17, 2015) (pp. 127–128). Dniprodzerzhinsk [in Russian].

UDC 621.923

Diana Muzychka

GRAIN WEAR EFFECT ON THE THEORETICAL LENGTH OF THE MAIN CUTTING CONE GENERATIX

Urgency of the research. The productivity improvement of diamond grinding while ensuring the quality of the treated surface and high performance maintaining of wheels is an important task of machine-building production.

Target setting. The research of the wearing process of the cutting surface of diamond grinding wheels in order to improve the processing efficiency and saving of its cost.

Actual scientific researches and issues analysis. The analysis of studies of the working layer of a grinding wheel wear in the radial section showed that the patterns of the working surface formation depend on both the type and method of grinding, and on the conditions of processing. Changing the size and geometric shape of the cutting surface of the wheel is due to the wear of individual grains. In the study of wear mechanisms of single abrasive grains, the problem of stability of a single grain in the bond of a wheel is solved principally.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Uninvestigated parts of general issues defining. *There are no studies of processes that simultaneously combine the micro- and macro wear of the working layer of the grinding tool.*

The research objective. *The purpose of the work is to study grain wear effect on the theoretical length of the main cutting cone of the working layer of the diamond grinding wheel.*

The statement of basic materials. *It is shown that the profile forming of the working surface of the grinding wheel depends on the processing conditions. It is established that the theoretical length of the generatrix of the main cutting cone (MCC) is a function of the time of contact of the grain with the treated surface, and therefore depends on the wear of the cutting grain along the back surface. Theoretical investigations of the diamond grains effect on the length of MCC generatrix have been made.*

Conclusions. *The conducted studies have shown that with increasing time of grain contact with the surface to be processed, the length of the main cutting cone generatrix increases irrespective of the bond grade, tension state of the grain-bond system grow in 3 ÷ 7 times due to the effect of temperature-force factors with the occurrence of wear grounds.*

Keywords: *grinding wheel; generatrix of the cone; grain; bond; tension; wear.*

Fig.: 5. References: 32.

Музичка Діана Геннадіївна – кандидат технічних наук, доцент, Дніпровський державний технічний університет (вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51900, Україна).

Muzychka Diana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Dniprovsk State Technical University (2 Dneprobudovskaya Str., 51900 Kamianske, Ukraine).

E-mail: muzichka@ua.fm

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2914-9672>

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-30-40

*Наталія Сіра, Олександр Литвин, Дмитро Кальченко, Володимир Морочко***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗНОСУ КРУГА, СИЛ РІЗАННЯ ТА ПОТУЖНОСТІ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ШЛІФУВАННІ ТОРЦІВ ЗАГОТОВОК РІЗНОГО ДІАМЕТРА**

Актуальність теми дослідження. Забезпечення високої конкурентоспроможності оброблених деталей потребує підвищення продуктивності при збереженні високої точності та якості.

Постановка проблеми. Підвищення точності виготовлення деталей пов'язано зі зростанням собівартості, тому для досягнення високих техніко-економічних показників найбільш перспективним є застосування нових рішень та вдосконалення способів обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою забезпечення високої точності торцевих поверхонь деталей одного діаметра німецька фірма Saturn здійснює їх обробку на двосторонніх торцешліфувальних верстатах абразивними кругами без калібруючих ділянок.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Під час обробки штовхачів з однаковими діаметрами їх торцевих поверхонь на двосторонніх торцешліфувальних верстатах фіксацію деталей здійснюють в осьовому напрямку. Відсутні дослідження впливу способу фіксації штовхачів в осьовому напрямку на точність формоутворення їхніх торцевих поверхонь із різними діаметрами.

Постановка завдання. Високі вимоги до точності та якості торцевих поверхонь вказаних деталей можна досягнути шляхом удосконалення існуючих або розробкою нових високопродуктивних способів шліфування.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення обробки деталей із різними діаметрами їхніх торцевих поверхонь за один прохід використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. Довжина калібруючих ділянок шліфувальних кругів відповідає більшому та меншому діаметрам.

Висновки відповідно до статті. Виміряно профіль інструменту та визначено знос абразивного круга після обробки 10 деталей, що становив 15 мкм. Експериментально отримано профіль інструменту та визначено питомий знос абразивного круга ($K = 25$). Експериментально визначені максимальні значення температур ($420-630^\circ\text{C}$) не викликають структурних перетворень у матеріалі. Шорсткість оброблених поверхонь деталей $Ra = 0,16-0,32$ мкм.

Ключові слова: шліфування; торці різних діаметрів; абразивний круг; сили різання; схрещені осі.

Рис.: 10. Табл.: 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Забезпечення високої конкурентоспроможності в галузі машинобудування при подальшому розвитку ринкових відносин вимагає вирішення задачі розробки нових способів шліфування, які забезпечуватимуть підвищення продуктивності обробки деталей при збереженні високої точності та якості їхніх поверхонь.

Постановка проблеми. У різних галузях машинобудування, зокрема автомобілебудуванні, тракторобудуванні, використовуються деталі з різними діаметрами торців. Високі вимоги до точності та якості торцевих поверхонь вказаних деталей можливо досягнути шляхом удосконалення існуючих або розробкою нових високопродуктивних способів шліфування.

Аналіз досліджень і публікацій. З метою забезпечення високої точності торцевих поверхонь деталей одного діаметра німецька фірма Saturn здійснює їх обробку на двосторонніх торцешліфувальних верстатах абразивними кругами без калібруючих ділянок [1].

У роботах [2-5] досліджується точність торцевих поверхонь деталей з однаковими діаметрами при їх двосторонньому торцевому шліфуванні абразивними кругами з калібруючими ділянками.

Спосіб однопрохідного двостороннього шліфування торців деталей одного діаметра, представлений у роботі [6], забезпечує високі ефективність, а також точність та якість оброблених поверхонь деталі.

Складним науковим та виробничим завданням, вирішення якого має велике значення для промислового комплексу України, є підвищення ефективності торцевого шліфування поверхонь деталей із торцями різного діаметра.

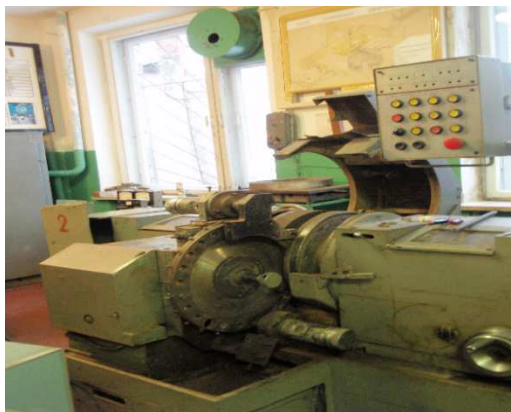
Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відомі способи шліфування торцевих поверхонь циліндричних деталей із круглим профілем та торцями одного діаметра, фіксація яких в осьовому напрямку відбувається торцями кругів. При різному припуску на обробку з обох сторін деталі відбувається її переміщення в осьовому напрямку під дією сил різання до їх вирівнювання. Але відсутні дослідження впливу орієнтації деталей із різними діаметрами торців в осьовому напрямку на точність фор-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

моутворення їх поверхонь. При обробці штовхачів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах їх фіксацію здійснюють в осьовому напрямку. Але відсутні дослідження впливу способу фіксації штовхачів в осьовому напрямку на точність формоутворення їх торцевих поверхонь із різними діаметрами.

Мета статті. Метою цієї роботи є підвищення ефективності шліфування торців деталей із різними діаметрами за рахунок розробки теоретичних основ процесу шліфування торців деталей орієнтацією їх та профільованих кругів як бази для створення нових способів обробки, способів підвищення продуктивності та точності обробки торцевих поверхонь деталей різних діаметрів шліфувальними кругами з плоскими торцевими поверхнями та калібруючими ділянками.

Виклад основного матеріалу. Одночасну обробку двох торців деталей різного діаметра здійснювали на двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО шліфувальними кругами 1-450×305×63-25А40СТ1Б8 (рис. 1, а). Перед обробкою шліфувальні круги правились по торцевим поверхням, перпендикулярним осям їх обертання, для виконання чорнової обробки алмазними олівцями, які встановлені на пристроях, закріплених на корпусах шліфувальних бабок (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Обробка торців деталей різного діаметра на верстаті 3342АДО:
а – шліфування торців деталей із різними діаметрами; б – правка шліфувальних кругів

На двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО здійснювалась обробка торців штовхачів (рис. 2) з торцями різного діаметра – 8 мм та 28 мм відповідно, матеріал штовхачів – сталь 40Х.



Рис. 2. Штовхач і клапани

Перед обробкою деталей із торцями різних діаметрів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах визначається величина припуску, яку необхідно зняти при шліфуванні.

Якщо припуск невеликий, доцільно виконувати обробку орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок [3].

У випадку обробки деталей зі зняттям великих припусків перевіряється можливість обробки орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок з одностороннім

розташуванням торців одного діаметра [1]. Цей варіант обробки обираємо, якщо похибка на торці більшого діаметра не більше допустимої.

Для забезпечення обробки деталей за один прохід та необхідної точності обробки у великосерійному та масовому виробництвах використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметру. При цьому необхідно забезпечити різну довжину калібруючих ділянок шліфувальних кругів залежно від діаметра, відповідно більшого та меншого.

При визначенні продуктивності шліфування торців деталей необхідно враховувати величину припуску, що знімається, розміри деталі, швидкість обертання барабана подачі виробів, податливість системи, яка змінюється за координатою обробки, та температуру нагрівання деталі. Із залежностей, приведених у [7], можна визначити питомі Q_{yinD} , Q_{yind} та миттєві Q_{mD} , Q_{md} продуктивності шліфування для двох торців деталі різних діаметрів (D – більшого та d – меншого відповідно):

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

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

$$Q_{mD}(T_D, \Pi_i) = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} (R_i - I_{in}(T_D)) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (3)$$

$$Q_{md}(T_d, \Pi_i) = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} (R_i - I_{in}(T_d)) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (4)$$

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

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

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

$I_{in}(T_D)$, $I_{in}(T_d)$ – знос шліфувальних кругів, який залежить від тимчасового опору та температури T нагрівання деталі, при обробці різних торців деталі з різними діаметрами;

α_{in} – кут нахилу дотичної в i -тій точці профілю, що визначає напрямок зносу шліфувального круга;

Π_i – коефіцієнт, що враховує податливість системи;

θ_k – кутовий параметр круга;

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

θ_{1ki} , θ_{2ki} – кутові координати плями контакту на радіусі;

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

Використовуючи залежності, наведені в [6; 7], визначимо знос шліфувальних кругів при обробці торцевих поверхонь деталі з різними діаметрами:

$$q(T_D, \Pi_i) = \frac{Q_a}{Q_{yin}(T_D, \Pi_i)} = C_q \cdot Q_{yin}(T_D, \Pi_i)^{m-1}, \tag{5}$$

$$q(T_d, \Pi_i) = \frac{Q_a}{Q_{yin}(T_d, \Pi_i)} = C_q \cdot Q_{yin}(T_d, \Pi_i)^{m-1}, \tag{6}$$

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

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

C_q – коефіцієнт, що дорівнює швидкості зносу.

З метою врахування температури нагрівання деталі в процесі обробки при розрахунку складових сил різання враховується величина напруження зсуву [7; 8; 9]:

$$\tau_s(T) = \tau_{s20} \cdot k_T(T), \tag{7}$$

де τ_{s20} – напруження зсуву при температурі 20 °С;

$k_T(T)$ – коефіцієнт, що враховує зміну властивостей оброблюваного матеріалу при зміні температури T .

Величину коефіцієнта, який враховує зміну властивостей матеріалу оброблюваних штовхачів (сталь 40Х) при їх нагріванні в процесі шліфування, наведено на рис. 3. Оскільки торцеві поверхні штовхачів різного діаметра, їх нагрівання при обробці відбуватиметься нерівномірно, а тому для кожного торця деталі коефіцієнт $k_T(T)$ буде набувати різних значень: $k_T(T_D)$ – для більшого та $k_T(T)_d$ – для меншого діаметрів відповідно.

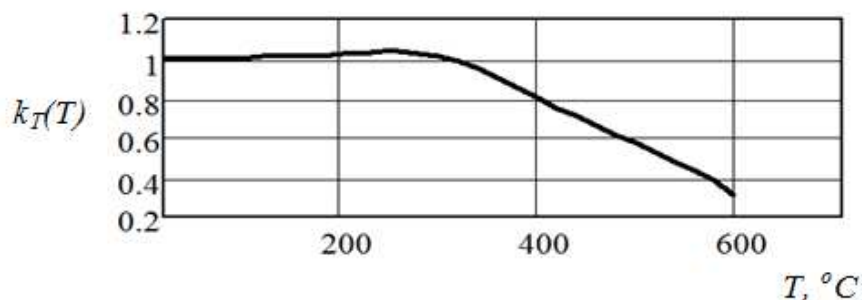


Рис. 3. Зміна величини коефіцієнта $k_T(T)$ для сталі 40Х

З метою забезпечення високої продуктивності шліфування застосовувався метод математичного планування експерименту для визначення оптимальних значень величини повороту кругів у вертикальній площині, припуску та швидкості кругової подачі деталі. Як параметр оптимізації Y була обрана продуктивність шліфування Q , як фактори – поворот кругів φ у вертикальній площині, величина припуску δ та швидкість деталі v_d . Використано повний факторний експеримент типу 2^3 із взаємодіями.

Нульовий рівень для повороту круга φ у вертикальній площині – 0,12 мм, величини припуску δ – 0,3 мм, швидкості деталі v_d – 0,68 м/хв. Діапазони варіювання факторів: φ – 0,1-0,17 мм; δ – 0,15-0,4 мм; v_d – 0,38-0,98 м/хв.

Для розрахунку коефіцієнтів складемо матрицю планування експерименту 2^3 з ефектом взаємодії (табл.).

Таблиця

Матриця планування експерименту

№	X_1 (φ , мм)	X_2 (δ , мм)	X_3 (v_d , м/хв)	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Y (Q)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	+	+	+	+	+	+	+	83,81
2	-	+	+	-	-	+	-	25,56
3	+	-	+	-	+	-	-	83,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	-	-	+	+	-	-	+	30,70
5	+	+	-	+	-	-	-	35,11
6	-	+	-	-	+	-	+	11,07
7	+	-	-	-	-	+	+	41,52
8	-	-	-	+	+	+	-	25,54

Рівняння математичної моделі в кодованих значеннях:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (8)$$

Визначені значення коефіцієнтів в рівнянні математичної моделі:

$$Y = 69,18 + 5,96 \cdot X_1 - 15,18 \cdot X_2 + 27,91 \cdot X_3 + 8,12 \cdot X_1 \cdot X_3 - 12,11 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (9)$$

Аналіз рівняння регресії (9) показав, що вплив на продуктивність обробки здійснюють поворот кругів φ у вертикальній площині, величина припуску δ та швидкість деталі v_d .

У процесі експериментального дослідження знос інструмента контролювався оптико-волоконним датчиком (рис. 4), закріпленим у барабані подачі виробів, щуп якого дотикається до профілю шліфувального круга.



а



б



в

Рис. 4. Визначення зносу шліфувального круга:

а – підготовка оптико-волоконного датчика; б, в – стенд для визначення зносу інструмента в процесі обробки за допомогою оптико-волоконного датчика

На рис. 5 зображено профіль шліфувального круга, виміряний за допомогою оптико-волоконного датчика, після обробки штовхачів.

Для визначення зносу шліфувального круга його профіль замірюється перед та після обробки деталей. Експериментально отримане значення питомого зносу шліфувального круга $K = 25$. Розрахована величина питомого зносу шліфувального круга становила $K = 20$.

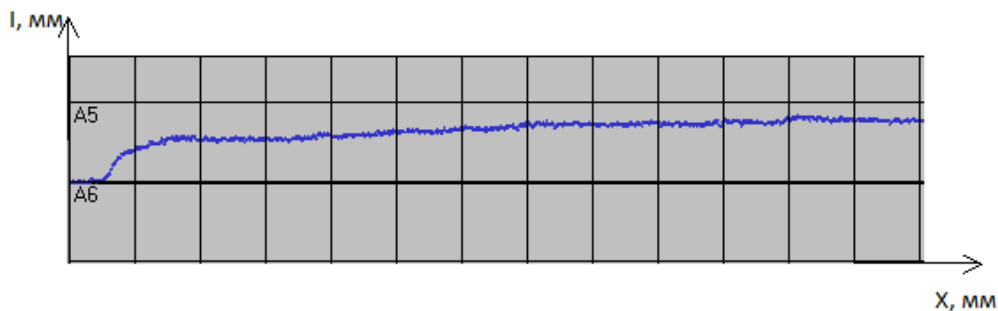


Рис. 5. Профіль шліфувального круга, отриманий за допомогою оптико-волоконного датчика

Також були проведені експериментальні дослідження потужності та сил різання при двосторонньому торцевому шліфуванні штовхачів із різними діаметрами торців за координатою обробки.

Активну потужність вимірювали за допомогою вимірювального перетворювача активної потужності С.А 8220 (рис. 6).



Рис. 6. Вимірювальний перетворювач активної потужності С.А 8220

Сили різання розраховувались для різних діаметрів торців деталі за допомогою експериментально визначеної величини потужності за залежністю [10]:

$$Pz_{iD} = \frac{Npiz_{iD}}{V_i}; \tag{10}$$

$$Pz_{id} = \frac{Npiz_{id}}{V_i}, \tag{11}$$

де $Npiz_{iD}$, $Npiz_{id}$ – потужність шліфування торців більшого (D) та меншого (d) діаметрів торців деталі;

V_i – швидкість різання.

За результатами експериментального дослідження отримані графіки активної потужності та сил різання за координатою обробки θ_b на двох торцях одного штовхача (рис. 7). Потужності показані кривими 1 та 2, а сили різання – кривими 3 та 4 відповідно для більшого та меншого торців деталі.

Як видно з отриманого графіка, при чорновій обробці величина потужності (криві 1, 2) збільшується пропорційно площі оброблюваної деталі, при напівчистовій та чистовій обробці – залишається майже незмінною, а на калібруючій ділянці шліфувальних кругів – значно зменшується, що забезпечує високу точність обробленої поверхні.

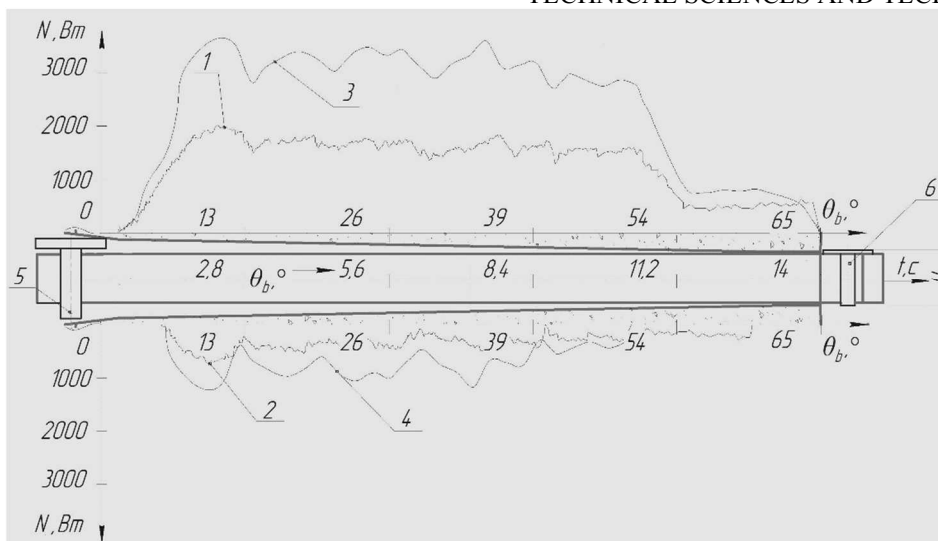


Рис. 7. Активна потужність (криві 1, 2) та сили різання (криві 3, 4) за координатою обробки θ_b на двох торцях штовхача:
5, 6 – штовхач до та після обробки відповідно

Експериментально визначено температуру при двосторонньому торцевому шліфуванні деталей із різними діаметрами торців, встановлених у барабані подачі виробів. Температуру на торцях заготовки вимірювали за допомогою термопар «хромель-капель» (рис. 8).



Рис. 8. Вимірювання температури за допомогою термопар «хромель-капель»

Спай термопар фіксувався на торцях заготовки. Для посилення напруги термопар, розташованих на торцях заготовки, використовувався підсилювач постійного струму. Напруга на виході підсилювача контролювалась мілівольтметром ВЗ-53. Для запису показань використовувався самозаписувач Н3031/1. Аналіз отриманої осцилограми (рис. 9) показав, що температура на торцях деталі прямопропорційно залежить від припуску, що зрізується, та швидкості подачі деталей у зону обробки.

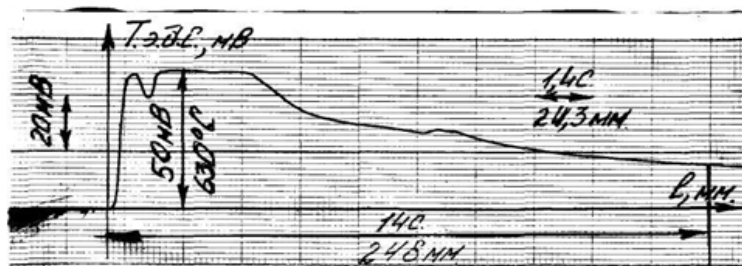


Рис. 9. Осцилограми Т.Е.Д.С. по координаті обробки

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Вимірювання шорсткості Ra торцевих поверхонь деталей виконувалось на профілографі-профілометрі моделі 201, а також за допомогою портативного профілометра Rocket Surf III. Із отриманої профілограми (рис. 10) шорсткість при обробці торців штовхача склала $Ra = 0,16-0,32$ мкм.

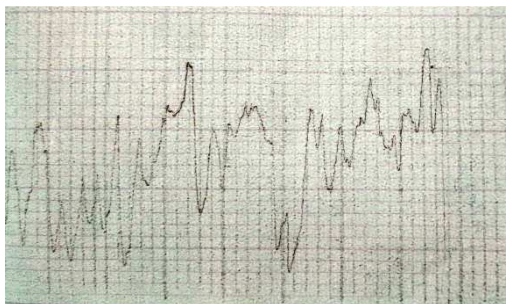


Рис. 10. Профілограма обробленої торцевої поверхні штовхача

Торцеве биття (рис. 11) вимірювалась приладом «TALYROUND». Експериментально отримане значення торцевого биття на діаметрі 25 мм становить 10 мкм.

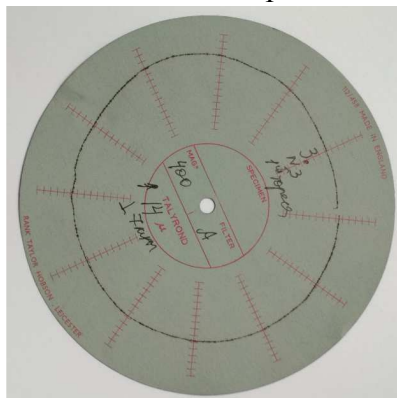


Рис. 11. Результати вимірювання торцевого биття штовхача на діаметрі 25 мм

Висновки відповідно до статті. Представлений спосіб двостороннього шліфування торцевих поверхонь деталей різного діаметра орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками, що забезпечує підвищення точності (ІТ 6-7) та продуктивності обробки.

З метою обробки деталей за один прохід та отримання заданої точності в багатосерійному та масовому виробництві використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. При цьому правкою шліфувальних кругів забезпечується різна довжина їх калібруючих ділянок залежно від діаметра оброблюваних торців деталі, відповідно більшого та меншого.

Для забезпечення високої продуктивності обробки проведено планування повного факторного експерименту з трьома факторами. Аналіз рівнянь регресії показав, що при двосторонньому торцевому шліфуванні торців штовхачів із різними діаметрами вплив на продуктивність обробки має величина припуску, що знімається, швидкість обертання барабана подачі виробів та орієнтація шліфувальних кругів.

Експериментальні дослідження розробленого способу двостороннього шліфування торцевих поверхонь деталі з різними діаметрами показали, що калібруюча ділянка на вході не бере участі в знятті припуску, тому ділянка для чорнового зняття припуску більше зношується, а калібруюча – мало піддається зносу. Експериментально отримане значення питомого зносу становить $K = 25$. Виміряні максимальні значення температур становлять $420-630$ °С і не викликають структурних перетворень у матеріалі.

Шорсткість оброблених поверхонь деталей під час експериментального дослідження становила $Ra = 0,16-0,32$ мкм. Розбіжність результатів, отриманих під час експериментального та теоретичного дослідження, становить 12 %.

Список використаних джерел

1. *Saturn*. Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 с.
2. Кальченко В. В. Формоутворення не обертаючихся при обробці циліндричних деталей профільованими і орієнтованими кругами / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 1999. – № 9. – С. 11–17.
3. Деклараційний патент 10636. Україна на винахід (корисну модель), МПК В24В5/04. Спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей / Кальченко В. В., Жадан О. В. ; заявник та патентовласник Кальченко В. В., Жадан О. В. – № u200505125 ; заявл. 30.05.05; опубл. 15.11.05, Бюл. № 1.
4. Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник наукових праць. – 2006. – Вип. 28. – С. 35–44.
5. Кальченко В. В. Профилирование ориентированных кругов при двустороннем шлифовании торцов цилиндрических деталей / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Информационные технологии: наука, техника, образование, здоровье : тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (15-16 мая 1999 г., Харьков). – Х. : ХГПУ, 1999. – № 7, ч. 2. – С. 131–133.
6. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Издание 2-е, дополненное. – Чернигов : ЧНТУ, 2015. – 504 с.
7. Венжега В. І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою : дис. канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2009. – 214 с.
8. Кальченко В. І. Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, О. С. Следнікова // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 4. – С. 72–82.
9. 3D-модельювання інструментів та формоутворення при шліфуванні торців непереточуваних прямокутних пластин орієтованим кругом / В. І. Кальченко, О. С. Следнікова, Д. В. Кальченко, Д. Г. Музичка // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 2 (73). – С. 55–62.
10. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. М. Єрошенко, Н. М. Сіра // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 4/2016. – С. 80–88.

References

1. Junker, E. (2005). *Saturn End-grinding with twin grinding wheels: Journal for Junkermaschinen customers*. Nordrash, Germany [in English].
2. Kalchenko, V. V., Passover, G. V. (1999). Formoutvorennia ne obertaiuchyhsia pry obrobtsti tsylindrychnykh detalei profilovanymy i oriientovanymy kruhamy [Formation of non-rotating cylindrical details by profiled and oriented circles]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, 9, 11–17 [in Ukrainian].
3. Kalchenko, V. V., Zhadan, O. V. (2005). *Sposib odnochasnoho shlifuvannia dvokh tortsiv tsylindrychnykh detalei [Method of simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts]*. Declarative patent 10636 Ukraine for invention (utility model), IPC B24B5/04 [in Ukrainian].
4. Kalchenko, V. I., Kalchenko V. V., Rudik A. V., Venzha V. I. (2006). Doslidzhennia protsesu odnoprokhidnoho dvostoronnoho shlifuvannia [Study of the process of one-pass bilateral polishing]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, 28, 35–44 [in Ukrainian].
5. Kalchenko, V. V., Pasov, G. V. (1999). Profilirovanie orientirovannykh krugov pri dvustoronnem shlifovanii tortsov tsilindricheskikh detalei [Profiling of oriented circles with bilateral sanding of

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ends of cylindrical parts]. Proceeding from *Informatsionnye tekhnologii: nauka tekhnika obrazovanie zdorove: VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – VII International scientific and technical conference «Information technology: science, technology, education, health»* (May 15-16, 1999, Kharkov) (pp. 131-133). Kharkiv: KhGPU, 7, Part 2 [in Russian].

6. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V. (2015). *Shlifovanie so skreshchivaiushchimisia osiami instrumenta i detali [Grinding with cross-axis tool and detail]* (2nd ed., supplemented). Chernigov: CSTU [in Russian].

7. Vengega, V. I. (2009). *Pidvyshchennia efektyvnosti shlifuvannia tortsiv pry skhreshchenykh osiakh detali ta kruha z kalibruvalnoiu diliankoiu [Improving the effectiveness of grinding end faces in crossed axes parts and circles with a calibration area]*. (Candidate's thesis). NTU "KhPI", Kharkiv [in Russian].

8. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Slednikova, O. S. (2016). Doslidzhennia protsesu shlifuvannia tortsiv oriietovanykh detalei profilovanykh kruhamy [Investigation of the process of grinding of ends of oriented details with profiled circles]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Cherkasy State Technological University. Series: Engineering. – Cherkasy: CHTTU, 4, 72-82* [in Ukrainian].

9. Kalchenko, V. I., Slednikova, O. S., Kalchenko, D. V., Muzychka, D. G. (2014). 3D-modeliuvannia instrumentiv ta formoutvorennia pry shlifuvanni tortsiv neperetochuvanykh priamokutnykh plastyn oriietovanykh kruhom [3D modeling of tools and shaping when grinding ends of non-retractable rectangular plates oriented circle]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences", 2 (73), 55-62* [in Ukrainian].

10. Kalchenko V. I., Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Gray N. M. (2016). Doslidzhennia sposobu shlifuvannia valkiv strichkopokatnykh staniv zi skhreshchenykh osiamy instrumenta ta detali [Investigation of the method of grinding rolls of tape-rolling mills with crossed axes of the tool and the part]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Cherkasy State Technological University. Series: Engineering, 4/2016, 80–88* [in Ukrainian].

UDC 621.923.42

Nataliia Sira, Oleksandr Lytvyn, Dmytro Kalchenko, Volodymyr Morochko

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL EFFICIENCY OF THE PROCESS OF CIRCLE WEAR, CUTTING POWER AND CAPACITY IN THE BILATERAL SANDING OF SCRAPERS OF TRAILERS WITH DIFFERENT DIAMETERS

Urgency of the research. In order to ensure high competitiveness, a solution is required to develop new grinding methods that improve the processing performance of parts.

Target setting. The increase in the precision of the manufacture of parts is due to the increase in cost, therefore, for the achievement of high technical and economic indicators the most promising is the application of new solutions and improvement of processing methods.

Actual scientific researches and issues analysis. In order to ensure high accuracy of the face surfaces of parts of the same diameter, the German company Saturn processes them on two-sided end-grinding machines with abrasive discs without calibration portions.

Uninvestigated parts of general matters defining. When machining pushers on two-sided end-milling machines, their fixation is carried out in an axial direction. There is no study of the effect of the method of fixing pushers in an axial direction on the accuracy of shaping their face surfaces with different diameters.

The research objective. High requirements for the accuracy and quality of the end surfaces of the specified parts can be achieved by improving existing or developing new high-performance grinding methods.

The statement of basic materials. For the processing of parts in one pass, a method is used for grinding orientated circles with calibrated areas with one-sided arrangement of ends of the same diameter. The length of the calibration sections of the grinding wheels corresponds to the larger and smaller diameter.

Conclusions. The profile of the tool was measured and the wear of the abrasive disc was determined after processing of 10 parts, which was 15 mm. The experimentally determined temperature value in the contact zone of the tool and the part is 400 °C, does not cause structural transformations in the material. The roughness of the processed surfaces of parts $Ra = 0.16-0.32 \mu\text{m}$. The difference between the results obtained from experimental and theoretical studies is within the range of 12 %.

Keywords: grinding; ends of different diameters; abrasive circle; cutting forces; crossed axes.

Fig.: 10. Table: 1. References: 10.

Сіра Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sira Nataliia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: nnseraya@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3248-0593>

ResearcherID: K-2658-2017

Литвин Олександр Олександрович – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Lytvyn Oleksandr – PhD student of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: xpower4718@gmail.com

Кальченко Дмитро Володимирович – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Dmytro Volodymyrovych – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net

Морочко Володимир Вікторович – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

E-mail: itmia@ukr.net

Володимир Ванько, Олександр Приходько

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Актуальність теми дослідження. Сучасні машинобудівні підприємства орієнтуються на випуск висококонкурентної продукції, яка повинна відповідати всім вимогам якості. Одним із таких видів продукції вважається гільза циліндра двигуна внутрішнього згорання тракторів і комбайнів. Така аграрна техніка мала широкий вжиток ще від часів СРСР.

Постановка проблеми. Основними складовими частинами двигуна є: блок циліндрів із гільзою; головка газорозподільного механізму; картер двигуна; впускний та випускний колектори; електрообладнання; система охолодження. Гільза циліндра, незважаючи на просту геометричну форму, є одним з найбільш відповідальних елементів двигуна внутрішнього згорання. Проблема полягає в забезпеченні якості виготовлення гільзи та в гарантуванні якості під час експлуатації у споживача.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наведено хімічний склад матеріалу гільзи, її механічні властивості, а також конструктивні складові та умови її експлуатації. Нині відсутні відомі вітчизняні методики – певною мірою це пов'язано із захистом інтелектуальної власності виробників.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Наголошено на недоліках чинної нормативної бази стосовно проблематики оцінювання якості гільзи циліндра двигуна внутрішнього згорання.

Постановка завдання. Наголошено на доцільності застосування матричного методу оцінювання якості продукції і послуг та FMEA-аналіз ризиків під час виконання виробничих процесів виготовлення гільзи циліндра, щоб гарантувати її високу якість. Проблема дослідження полягає в підвищенні якості зазначених гільз завдяки мінімізації ризиків, які виникають під час виконання всіх технологічних операцій їх виготовлення.

Виклад основного матеріалу. На основі запропонованого підходу для дослідження гільз циліндра описана розроблена методика оцінювання якості даних виробів. Вона містить наступні розділи: призначення методики, вибір методу оцінювання якості гільзи циліндра, вимоги до точності оцінювання якості гільзи, вимоги до безпечності виконуваних робіт, вимоги до кваліфікації спеціалістів, підготування та виконання операцій методики, оформлення результатів проведення методики оцінювання якості гільзи циліндра. Детально наведено зміст кожного розділу розробленої методики. Представлено алгоритми математичної логіки для оцінювання якості гільз циліндра, пошуку причин погіршення якості та шляхів їхнього подолання.

Висновки відповідно до статті. Наведено приклад опитувальної анкети стосовно процесів лиття заготовок гільзи циліндра.

Рис.: 1. Табл. 2. Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. Сьогодні багато вітчизняних машинобудівних підприємств намагаються не лише забезпечити власні потреби в якісній продукції, але й вийти на міжнародні ринки різноманітної технічної продукції. Насамперед це стосується великогабаритної сільськогосподарської техніки – тракторів і комбайнів, які широко застосовуються для виконання багатьох технологічних процесів.

Одним із головних вузлів цієї техніки вважається гільза циліндра АЛ 0908.3012.2017, яка входить до складу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) СМД-14. Першим цей двигун почали використовувати на Волгоградському тракторному заводі – його встановлювали трактор ДТ-75 [1]. Свого часу цей трактор на гусеничному ході був наймасовішим трактором за випуском у СРСР. Цей трактор випускається й понині. На сьогодні таких агрегатів випущено близько 2,7 млн одиниць.

Постановка проблеми. Основними складовими частинами ДВЗ є: блок циліндрів із гільзою; головка газорозподільного механізму; картер двигуна; впускний та випускний колектори; електрообладнання; система охолодження [2]. Блок циліндра являє собою основну деталь ДВЗ, яка є суцільнолитотою деталлю, що об'єднує в собі циліндри двигуна. Відливається зазвичай із чавуну, рідше – алюмінію. На блоці циліндрів містяться опорні поверхні для встановлення колінчастого вала, до верхньої частини блока, якого кріпиться головка блока циліндрів, а нижня частина є частиною картера. Таким чином, блок циліндрів є основою ДВЗ, на яку встановлюються інші деталі.

Блок циліндра призначений для перетворення енергії поступального руху поршня, який розміщується всередині гільзи, в обертальний рух колінчастого вала.

Гільза циліндра належить до довгих циліндричних деталей. Вона має просту геометричну форму і є найбільш відповідальним елементом корпусу ДВЗ.

У гільзі циліндру розміщується поршень, разом із кришкою вона утворює камеру згорання. При згоранні палива поршень починає рухатись, і відбувається перетворення енергії палива в механічну.

Ця гільза належить до так званих мокрих гільз. У мокрій гільзі зовнішня поверхня – сорочка має безпосередній контакт з охолоджувальною рідиною. Мокрі гільзи гарантують ефективнішу теплопередачу й легкозамінні в разі зношування. Гільза циліндра має порожнину охолодження – сорочку. З метою правильної установки в блоці й збереження форми, гільзу центрують по двох напрямних поясках. Діаметр верхнього пояска трохи більший від нижнього, в якому для забезпечення подовження втулки при роботі передбачається проміжок 0,05-0,13 мм. Порожнини охолодження ущільнюють спеціальними гумовими кільцями, які встановлюються в канавки блока циліндрів або в канавки гільзи на нижньому напрямному поясочку та верхньому. Внутрішня поверхня втулки або гільзи циліндра є робочою й називається дзеркалом циліндра. Для зменшення тертя й оптимального забезпечення мастилом гільза має головну особливість – це дуже точна макро- і мікрогеометрія поверхні отвору зі спеціальним мікроскопічним рельєфом, який складається із відносно глибоких западин (масляних карманів) і плоских виступів (плато).

Аналіз останніх досліджень. Основою матеріалу гільзи є чавун спеціальний, отриманий на основі сірого чавуну [4]. Вміст його складових наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад чавуну спеціального гільзи (вміст у %)

Чавун	С	Мо	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
					Не більше			
СЧ24	3,1- 3,5	2,0 - 2,4	0,7 - 1,0	0,3 - 0,5	0,15	0,45 – 0,7	0,3	0,3

Хімічний склад, структура матеріалу, точність виготовлення гільзи, мікрорельєф робочої поверхні визначають загальну надійність ДВЗ, показники пари тертя поршневе кільце-гільза також дозволяють створити умови для повного згорання палива, підвищення ефективності теплових циклів і збільшення коефіцієнта корисної дії ДВЗ.

Такі високоякісні та дорогі легуючі метали, як нікель, хром і молібден підвищують міцність, зносостійкість і корозійну стійкість гільз циліндрів, що передусім позитивно позначається на тривалості й надійності роботи машини.

Наведений матеріал (чавун), з якого виготовляється гільза циліндра, характеризується такими механічними властивостями:

- мінімальна межа міцності при розтягуванні – 263 МПа;
- твердість металевої основи на робочому діаметрі гільзи 229–277 НВ;
- мінімальний модуль пружності 117 000 МПа.

Ця деталь є тілом обертання і має такі конструктивні елементи: зовнішні циліндричні поверхні, внутрішню циліндричну поверхню, три торця, зовнішні і внутрішні фаски, конусну поверхню та дві галтелі.

Гільза циліндра ДВЗ працює в жорстких умовах високих температур та тиску, тому до якості їх обробки висуваються високі вимоги. Особливу увагу приділяють обробці внутрішньої поверхні гільзи, концентричності внутрішніх та зовнішніх поверхонь, перпендикулярності торців до осі.

Таким чином, до якості цього вузла ДВЗ висуваються достатньо жорсткі вимоги.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Як відомо, вимоги до гільзи циліндра, як і до будь-якого іншого вузла чи блока, формуються відповідними нормативними документами. Це стосується і проблеми оцінювання якості зазначеного вузла.

Варто зазначити, що чинні нині методика для виготовлення гільз циліндра ДВЗ, наприклад такі як у [3], не завжди дозволяють виготовляти їх із високою якістю.

Постановка завдання. Відповідно до [4] запропоновано застосування матричного методу оцінювання якості продукції і послуг та FMEA-аналіз ризиків під час виконання виробничих процесів стосовно цієї гільзи циліндра ДВЗ, щоб гарантувати її високу якість у вигляді готового продукту та під час експлуатації. Для реалізації цих процесів розробимо покращену методику оцінювання якості (МОЯ) зазначених вузлів.

Виклад основного матеріалу. Пропонуємо цей нормативний документ будувати аналогічно до методики виконання вимірювань на основі вимог, викладених у [5]. З огляду на ці вимоги, структура методики оцінювання якості гільзи циліндра ДВЗ матиме вигляд, показаний на рисунку.

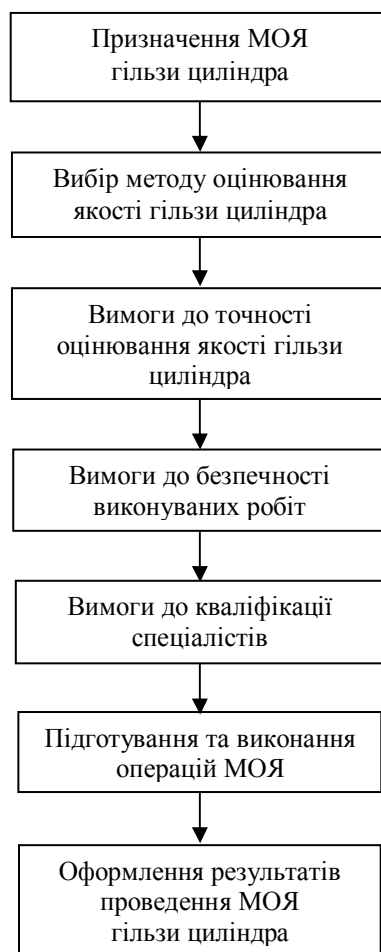


Рис. 1. Структура методики оцінювання якості гільзи циліндра ДВЗ

Спочатку наводяться галузь застосування об'єкта дослідження – гільзи циліндра ДВЗ та її показники якості (ПЯ) з наведеними діапазонами їхньої зміни.

Надалі зосереджуються на методі оцінювання якості об'єкта – тут йдеться про обраний вище підхід [4].

У переважній більшості випадків не ставляться особливо жорсткі вимоги стосовно точності оцінювання якості об'єкта. Щодо якості гільзи циліндра ДВЗ можна стверджувати, що сумарна похибка результатів оцінювання не повинна бути меншою $\pm 1,0\%$.

Небезпека під час виконуваних робіт може виникати лише при виконанні технологічних операцій, пов'язаних із виготовленням гільзи.

Оскільки для формування часткових матриць якості $|Q_{OP}|$ та їхнього оцінювання потрібні провідні фахівці з різних операцій і процесів, то залучають кадри найвищої кваліфікації, а також формують деякий перелік опитувальних анкет для збору інформації. Також застосовують експертні методи опрацювання отриманих даних, за допомогою яких складають часткові еталонні матриці $|Q_{OP_et}|$ для досліджуваних операцій і процесів.

Власне процедура оцінювання якості відбувається з використанням операцій математичної логіки [6] у вигляді перевірки умов.

$$|Q_{OP}| - |Q_{OP_et}| = \left. \begin{array}{l} \text{якщо отримують матрицю} \\ \text{з від'ємних елементів} \quad \Rightarrow \quad \text{вища якість;} \\ \text{якщо отримують матрицю} \\ \text{з додатними елементами} \quad \Rightarrow \quad \text{низька якість} \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Коли має місце погіршення якості операції або процесу, то щодо виявлених незадовільних ПЯ – пріоритетних чисел ризику (ПЧР) n_p – проводять наступну перевірку

$$|n_p| - |n_{p_et}| = \left. \begin{array}{l} \text{якщо } S_B - S_{B_et} < 0 \rightarrow \text{жодних корекцій;} \\ \text{якщо } S_B - S_{B_et} > 0 \rightarrow \text{аналіз і корекція;} \\ \text{якщо } O_{\dot{u}} - O_{\dot{u}_et} < 0 \rightarrow \text{жодних корекцій;} \\ \text{якщо } O_{\dot{u}} - O_{\dot{u}_et} > 0 \rightarrow \text{аналіз і корекція;} \\ \text{якщо } D_{вд} - D_{вд_et} < 0 \rightarrow \text{жодних корекцій;} \\ \text{якщо } D_{вд} - D_{вд_et} > 0 \rightarrow \text{аналіз і корекція.} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де S_B – ступінь вагомості наслідків ризику, $O_{\dot{u}}$ – ймовірність виникнення дефекту, $D_{вд}$ – ймовірність виявлення дефекту.

При цьому метою аналізу кожного ПЯ під час знайденого порушення є встановлення рівня оптимальних корегувальних дій, залежно від виявленого відхилення.

На завершальній стадії фіксуються результати проведення МОЯ гільзи циліндра ДВЗ та перелік необхідних корегувальних дій стосовно знайдених порушень технології, що призвели до погіршення якості виробів.

У табл. 2 наведено приклад заповненої опитувальної анкети стосовно процесів плавлення чавуну в печах ІЧТ. Згідно з вимогами чинних нормативних документів [7; 8] вибрано $n_{p_et} = 100$. Враховуючи вимогу (1), можна стверджувати, що процеси, де n_p перевищувало граничне значення, потребують корегувальних дій для уникнення погіршення якості досліджуваного виробу – гільзи циліндра АЛ 0908.3012.2017 ДВЗ.

Таблиця 2

Приклад проведення FMEA-аналізу для плавлення чавуну в печах ІЧТ

Процес/ функція	Вимоги	Вид потенційної відмови	Потенційний наслідок відмови	Вагомість «S»	Потенційні причини відмови	Виникнення «O»	Поточне проектування		Виявлення «D»	ІРП
							діючі заходи щодо запобігання	діючі заходи щодо виявлення		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Підготовча Провести футерування, сушку, спікання та вивести на режим експлуатації печі ІЧТ. Провести футерування та сушку барабанних ковшів	Наявність готової до експлуатації індукційної печі	Піч неготова до експлуатації по причині не відповідності якості футерувальних матеріалів	Затримка в роботі ливарного цеху	7	Футерувальні матеріали не відповідають вимогам переліку вхідних матеріалів	3 3	Мати запас футерувальних матеріалів (не менше 10 т)	До початку та періодично під час зміни роботи обстеження вузлів і механізмів засобу транспортування	4	84
		Піч не готова до експлуатації з технічних причин			Несвоєчасна підготовка печі технічними службами цеху		3	Своєчасно виконувати ремонтні роботи		
	Наявність готового барабанного ковша		Збій в технологічному процесі виготовлення відливок	7	Несвоєчасна підготовка розливних ковшів до роботи	4	Провести додатковий інструктаж з бригадою футерувальників про необхідність своєчасної підготовки до роботи розливних ковшів	Проводити щомісячний контроль стану розливних ковшів. Мати в наявності резервний розливний ковш, підготовлений до роботи	5	140
2. Завантаження. Витягнути сертифікат з «карману» короба, порівняти його дані з розрахунками шихти. Провести візуальне обстеження на відсутність вибухонебезпечних предметів, завантажити шихту в тігель печі	Відсутність вибухо-небезпечних предметів в отриманих шихтових матеріалах	Наявність в отриманих плавильною дільницею шихтових матеріалах вибухонебезпечних предметів	Призупинення завантаження шихти до печі та повернення коробу з вибухонебезпечним предметом на шихтовий двір	7	Неуважність шихтувальників при підготовці металевої шихти для подачі на плавильну дільницю	2	Провести додатковий інструктаж про необхідність ретельної перевірки шихти	Плавильнику проводити ретельне обстеження кожного коробу з шихтою перед завантаженням до печі	5	70

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Наявність на плавильній дільниці розрахунків шихти та змінного завдання	Відсутність на плавильній дільниці розрахунків шихти та змінного завдання	Затримка процесу плавлення	4	Несвоєчасне забезпечення плавильної дільниці розрахунком шихти	2	Забезпечити плавильну дільницю розрахунками шихти в відповідності до змінного завдання	Візуально на початку зміни	3	36
3. Плавка. Плавити шихту (завантажити до печі шихтові матеріали відповідно до вимог розрахунку шихти). Видалити шлак із поверхні	Феродомішки відповідають вимогам розрахунку шихти	Сплутані введені феродомішки	Невідповідність хімічного складу рідкого металу	7	Неуважність плавильника при додаванні феродомішок до печі	3	Провести додатковий інструктаж плавильників	Проводити аналіз вихідного рідкого металу	4	84
	Вага введених феродомішок відповідає вимогам розрахунку шихти	Вага введених феродомішок не відповідає вимогам розрахунку шихти	Невідповідність хімічного складу рідкого металу	7	Збій у роботі ваг	3	Своєчасно проводити перевірку ваг відповідно до встановленого графіку	Щозмінно контролювати працездатність ваг	4	84

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Висновки відповідно до статті. Запропонована методика для оцінювання якості машинобудівних виробів є новим нормативним документом, завдяки якому підприємство зможе зменшувати кількість браку, виявляти слабкі в технологічному плані ділянки свого виробництва та підвищувати конкурентоспроможність своєї продукції з метою успішного функціонування на внутрішньому та міжнародному ринках.

Список використаних джерел

1. *Трактор ДТ-75* / М. А. Шаров, А. А. Дивинский, Н. П. Харченко и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1970. – 256 с.
2. *Техническое описание и инструкция по эксплуатации трактора ДТ-75, составлены группой инженеров Головного специализированного конструкторского бюро (ГСКБ) по гусеничным пахотным тракторам Волгоградского тракторного завода и Головного специализированного конструкторского бюро по двигателям средней мощности (ГСКБД) г. Харькова.* – 277 с.
3. *Технология изготовления гильз цилиндров. Мотордеталь* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.motordetal.ru/news/tekhnologiya_izgotovleniya_gilz_tsilindrov.
4. Ванько В. М. Матричний метод проведення FMEA-аналізу як інструмент прогнозування якості продукції / В. М. Ванько, О. М. Приходько // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2017. – № 78. – С. 80–84.
5. *ГОСТ 8.010-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения* [Электронный ресурс] // ГП «Укрметртестстандарт». – Режим доступа : <http://www.ukrcsm.kiev.ua>.
6. Манин Ю. И. Лекции по математической логике. Части 1 и 2 / Ю. И. Манин. – М.-Л. : Сов. уч. лит-ра для ВУЗ, 1974. – 204 с.
7. *FMEA-анализ видов и последствий потенциальных отказов* / Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. Руководство – 4-е издание, 2008 г.
8. *IEC 60812:2006. Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).*

References

1. Sharov, M. A., Divinski, A. A., Kharchenko, N. P. et al. (1970). *Traktor DT-75 [Tractor DT-75]*. Moscow: Kolos [in Russian].
2. *Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiia po ekspluatatsii traktora DT-75, sostavleny gruppoy inzhenerov Golovnoho spetsializirovannogo konstruktorskogo biuro (HSKB) po gusenichnym pakhotnym traktoram Volgogradskogo traktornogo zavoda i Golovnoho spetsializirovannogo konstruktorskogo biuro po dvygateliam srednei moshchnosti (HSKBD) g. Kharkova* [Technical description and operating manual for DT-75 tractor, compiled by a group of engineers of the Head Specialized Design Bureau (GSKB) for tracked arable tractors of the Volgograd Tractor Plant and the Head Specialized Design Bureau for engines of average power]. Kharkiv [in Ukrainian].
3. *Tekhnologiya izgotovleniya gilz tsilindrov. Motordetal* [Manufacturing technology cylinder liners]. Retrieved from https://www.motordetal.ru/news/tekhnologiya_izgotovleniya_gilz_tsilindrov.
4. Vanko, V. M., Prikhodko, O. M. (2017). *Matrychnyi metod provedennia FMEA-analizu yak instrument prohnozuvannia yakosti produktsii* [The matrix method of conducting FMEA-analizu yak the instrument of prediction of the product]. *Measurement Technology and Metrology – Vymiriuvalna tekhnika ta metrologiia*, 78, 80-84 [in Ukrainian].
5. *GOST 8.010-99 Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenii. Metodiki vypolneniia izmerenii. Osnovnye polozheniia* [GOST 8.010-99. State system for ensuring uniformity of measurements. Measurement techniques. Main provisions]. Retrieved from <http://www.ukrcsm.kiev.ua>.
6. Manin, Yu. I. (1974). *Lektsii po matematicheskoi logike. Chasti 1 i 2* [Lectures on mathematical logic. Part 1,2]. Moscow – Leningrad: Sov. uch. lit. [in Russian].
7. *FMEA-analysis of the types and consequences of potential failures*, Chrysler Corp., Ford Motor Company, General Motors Corp. Guide 4th edition (2008).
8. *IEC 60812:2006. Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).*

UDC 658.562:621.983.073

Volodymyr Vanko, Oleksandr Prykhodko

IMPROVED METHOD OF EVALUATION OF THE QUALITY OF THE CYLINDER MILL FOR THE INTERNAL SEMICONDUCTOR ENGINE IN AGRICULTURAL EQUIPMENT

Urgency of the research. Modern machine-building enterprises are guided by the production of highly competitive products, which must meet all the requirements of quality. One of these types of products is the cylinder sleeve of the internal combustion engine of tractors and combines. Such agrarian technology was widely used since the times of the USSR.

Target setting. The main components of the engine are: a cylinder block with a sleeve; head of gas distributing mechanism; engine crankcase; intake and exhaust manifolds; electrical equipment; cooling system. Cylinder sleeve has a simple geometric shape, but she is the most responsible element of the internal combustion engine. The problem is to ensure the quality of production of the cylinder sleeve and to guarantee quality during operation at the consumer.

Actual scientific researches and issues analysis. The chemical composition of the sleeve material, its mechanical properties, as well as the constructive components and conditions of its exploitation are given. At present, there are no known domestic methods. It possibly because producers are protect their intellectual property.

Uninvestigated parts of general matters defining. The shortcomings of the current normative base with regard to the problems of assessing the quality of the cylinder sleeve of the internal combustion engine are highlighted.

The research objective. The expediency of using the matrix method for assessing the quality of products and services and FMEA-analysis of risks during the process of manufacturing a cylinder sleeve to ensure its high quality are noted. The problem of the study is to improve the quality of these sleeves by minimizing the risks that arise when performing all technological operations of their manufacture.

The statement of basic materials. Based on the proposed approach for studying cylinder casings, a developed method for evaluating the quality of these products is described. It contains the following sections: the designation of the method, the choice of method for assessing the quality of the sleeve cylinder, the requirements for the accuracy of the quality of the sleeves, the requirements for the safety of work, requirements for the qualification of specialists, the preparation and implementation of operations of the method, the design results of the method of the cylinder sleeve. Details of each section of the developed method are given in detail. The algorithms of mathematical logic for estimating the quality of cylinder sleeves, the search for causes of deterioration of quality and ways of their overcoming are presented.

Conclusions. An example of a questionnaire regarding the processes of casting of cylinder sleeve castings is given.

Keywords: system; quality; Quality Score; cylinder sleeve; FMEA-analysis; matrix of quality; reference matrix; quality management.

Fig.: 1. Table: 2. References: 8.

Ванько Володимир Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Комп'ютеризовані системи автоматики», Національний університет «Львівська політехніка» (вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79000, Україна), дійсний член Академії метрології України.

Vanko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computerized Systems of Automation, Lviv Polytechnic National University (12 Stepan Bandera Str., 79000 Lviv, Ukraine), Full Member of the Academy of Metrology of Ukraine.

E-mail: vvm@lp.edu.ua; vvm510@ukr.net

Приходько Олександр Миколайович – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка» (вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79000, Україна).

Prykhodko Oleksandr – PhD student, Lviv Polytechnic National University (12 Stepan Bandera Str., 79000 Lviv, Ukraine).

E-mail: a.prihodko1@gmail.com

Rudolf Jánoš, Antónia Bañasová

CELL DESIGN FOR GEARBOX ASSEMBLY

Urgency of the research. Automation is the next step in increasing productivity and performance. It represents the autonomous management of the entire system as well as the assembly or production process. This completely eliminates a human factor from the work process.

Target setting. Today's robots and manipulators are now autonomous. Automated systems can be found in almost all industries. They are an indispensable part of non-productive environments, but we can also find them in non-industrial areas as well. Their dynamic development extends to service robotics. For their productivity, they have reached a high level, but their development is constantly advancing by refining their subsystems, introducing new functional principles, or upgrading components and elements involved in the construction of these mechanisms.

Actual scientific researches and issues analysis. To meet the requirements of automation cells, it was slowly being applied to flexible production systems. These are systems that consist of computers and are connected by means of control units. They are characterized by complexity, flexibility and, above all, the multiplicity of elements. Such flexible systems based on the modularity, that systems are composed of individual modules and subsystems that can be adapted as needed.

Uninvestigated parts of general issues defining. Design of automated robotic workplaces, based on the intensive development of functional and especially kinematic structures of the workplace as a whole.

The research objective. To what extent is it possible for the work process to be mechanized or automated depends also on the level of development of the used equipment. In today's development stage, design of automated device is also automated.

The statement of basic materials. This article focuses on the design of the manipulator, whose main task is to perform the assembly. Analysis of the task illustrates the principle design of the solution, which is also the starting point for the design of the universal manipulator. Current requirements of application practice for robotic technology have caused increased requirements for its functions, characteristics and parameters which cannot be always covered by the traditional approach to its design and construction.

Conclusions. In this article describes in more detail the knowledge and division of the proposed devices and mechanisms, which provides an initial understanding of design. By analyzing the problem and defining the necessary parameters, the design of the manipulator was developed. Festo's design software also helped to make the right choice.

Keywords: manipulator; actuator; assembly; robotics; production cell.

Fig.: 4. References: 9.

Introduction. Incorporating new technologies, more efficient manufacturing machines and industry innovations, it is expected to increase labor productivity and possibly exclude human power from the production process. So we can talk about mechanization and automation of production processes.

In particular, mechanization is a substitute for man, that is to say the replacement of human power with the help of engines, which also brings us increased performance and productivity. Still, it remains to solve the issue of mechanization of workpiece clamping, supply of containers, transportation of semi-finished products [1; 3].

With deeper insights into the application of these mechanisms and their requirements, we can say that applications that can and are capable of performing robotic devices are now almost unlimited. However, these applications must meet the requirements for process quality and stability. Quality has not only an effect on the quality of the output element, but also on energy, material and time consumption [4; 6; 8].

Modular assembly systems are, from the point of view of the technical solution, compiled from:

- Flexible technology modules - Module capable of technologically covering the specified range of products, simple reconfiguration of module elements to cover a related assortment of products.

- Modular builders of the decisive elements of the production system - a manual reconfiguration of these elements (within the scope of the construction kit), elements with new properties and parameters can be assembled [2; 7; 9].

These approaches bring in the design of automated robotic workplaces a new direction based on the intensive development of functional but especially kinematic structures of the workplace as a whole.

Automationa design of manipulator for assembly. For each proposal (new design of manipulator), it is important to follow a certain hierarchy and continuity between the mechanisms. The reason is the continuity of parameters between applied devices. The procedure

I chose for is fast and proven on several manipulators created. The design process is as follows. As an example, I present a manipulator design for the assembly of plastic gearbox. First step is choose kinematics of manipulator [4; 8].

Kinematics: A manipulator containing from 3 translational movements in the x, y, z direction is suitable for assembly. All these movements are provided by electric stepper motors to achieve the exact position of the manipulator.

Workspace: manipulator drives together perform movements that describe the shape of the cube. Its definition is shown in Figure 1.

In the case of a manipulator design, I opted for portal architecture because it is a more expensive option, but due to its flexibility and usability in the future, in my opinion, it is a more advantageous variant. The size of the workspace is directly determined by the stroke sizes of the individual drives.

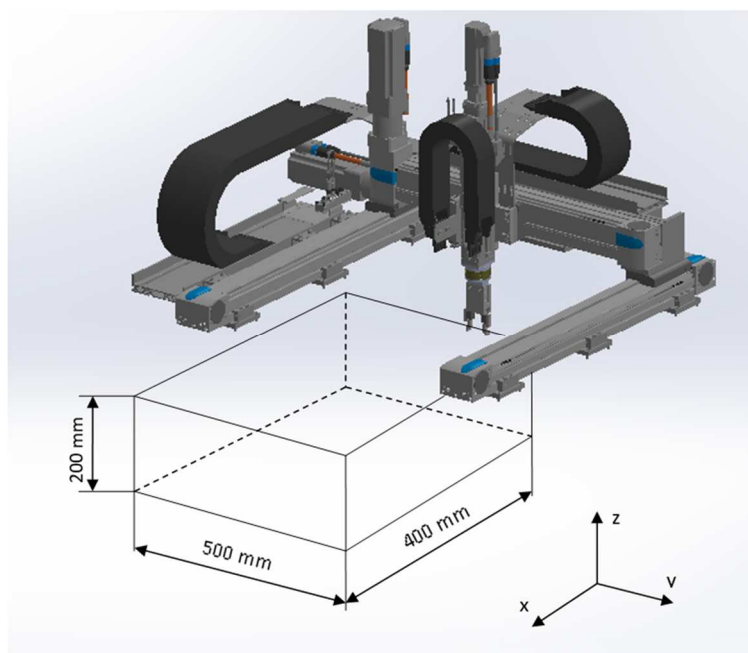


Fig. 1. Workspace of manipulator

Design of actuators: All calculations of the drives I realized using the Festo design software, which made it easy and convenient to select the most suitable type of manipulator for my case:

1. Axis definition and payload:

Drive type: X: Electric, multiple positions
 Z: Electric, multiple positions
 Y: Electric, multiple positions

Required workspace: X: 500 mm
 Y: 400 mm
 Z: 200 mm

Useful load (effector and workpiece): 0.356 kg

Distance of center of gravity: X: 19 mm
 Y: 19 mm
 Z: 3 mm

2. Reference cycle and system dimensioning:

- Traveling distance $S = 300\text{mm}$
- Number of changes $i = 4$
- Duration: 5 s

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- Snap time and waiting time: 2 s
- Cycle time: 7 s
- Additional force in Z direction in 1a 2: 15 N

3. Selection of electrical properties:

- Engine position on X axis: left
- Safety function of the motor controller according to EN 61800-5-2: Basic STO
- Bus connection: I / O operation or integrated

4. System Configuration:

- Engine type: Festo engine
- Engine brake: X: no
Y: no
Z: yes
- Controller Type: Festa Engine Controller
- Engine driver for X, Y, Z: CMMP-AS-M0
- Festo Sensor Kit
- Switching output: PNP
- Switching function for electric axes: Switch
- Fixing: Profile fastening
- Minimum lead length from the output of the power chain: 5 m
- Mounting type: Complete mounting

Results of the calculations of individual axes

Using Festo's Positioning Drives 2.3.14, designed for electric drives, we can generate work cycles, including single axle loads.

For axis x, Fig. 2 we can read the following:

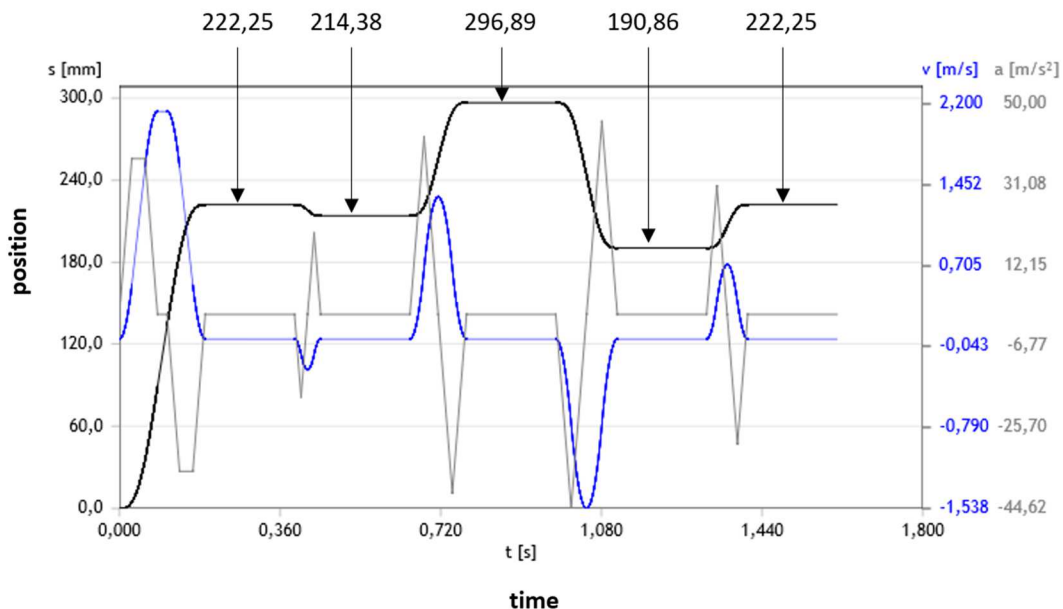


Fig. 2. Process diagram of axis X

A value of 214.38 mm - rearward displacement of 8.12 mm to the required position of the gear in the actuator.

The value of 296.89 mm - is moved forward by 82.51 mm above the vibratory gearbox with the gear wheel $D_a = 38$ mm.

A value of 190.86 mm - a rearward displacement of 106.03 to the required position of the gear in the actuator.

222.25 mm - return to the original position.

Modul Y

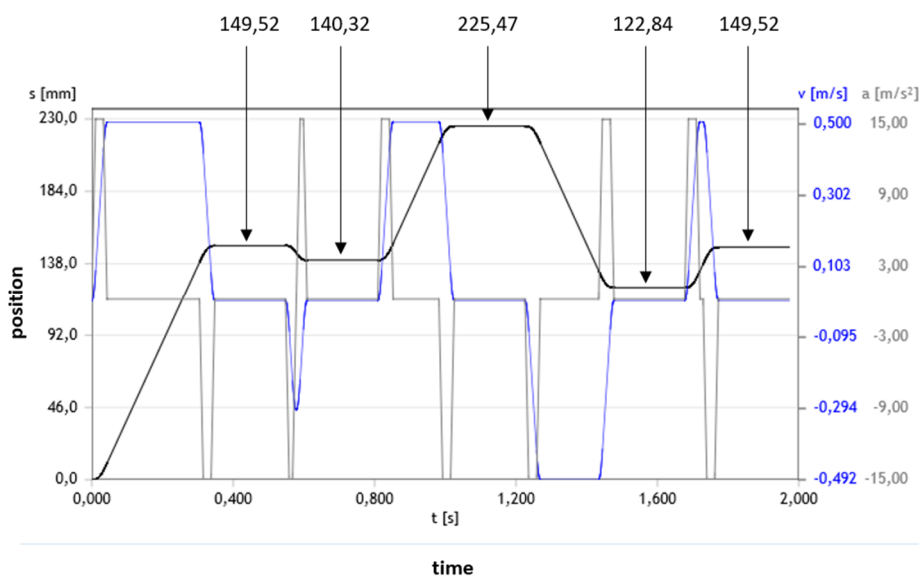


Fig. 3. Process diagram of axis Y

149.52 mm - position of the module above the vibratory gearbox with the gear wheel $d_a = 29$ mm.

140.32 mm - Moving the module backward by 9.20 mm to the required position of the gear in the actuator.

225.47 mm - the module moves forward by 85,15 mm above the vibratory gearbox with a sprocket of diameter $D_a = 38$ mm.

122.84 mm - module rearward displacement by 102.63 mm to the required position of the gear in the actuator

The value of 149.52 mm - the initial position.

Modul Z

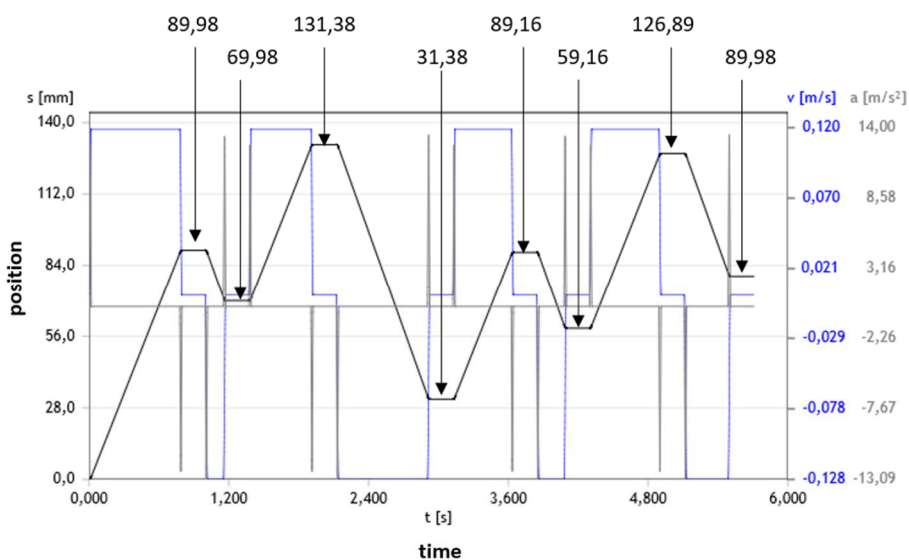


Fig. 4. Process diagram of axis Z

The value of 89.98 mm - transfer to the gripping height of the gear $d_a = 29$ mm from the vibratory container.

69.98 mm - Module stroke by 20 mm with already gripped gear.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

The value of 131.38 mm - a decrease of 61.4 mm to the height of application of the actuator tooth.

31.38 mm - The module is lifted 100 mm above the vibrating tray.

89.16 mm - the module slides by 57.78 mm to the gearing position $D_a = 38$ mm.

The value of 59.16 mm - a lift of 30 mm with the already gripped gear.

The value of 126.89 mm - a displacement of 68.73 mm to the position of the gearing

89.98 mm - return to the initial position

Conclusion

First, it describes and describes in more detail the knowledge and division of the proposed devices and mechanisms, which also provides us with an initial excursion by design. By analyzing the problem and defining the necessary parameters, we came to the design of the manipulator itself. Festo's design software also helped us to make the right choice.

Acknowledgement

The authors would like to thank to Slovak Grant Agency – project KEGA 018TUKE-4/2018, and FGV/2016 supported by Faculty of Mech. Eng. at Technical University of Kosice.

References

1. MacConaill, P. A., Drews, P. & Robrock, K. H. (1991). *Mechatronics and robotics, 1*. Amsterdam: IOS Press ISBN 90-5199-057-X [in English].
2. Lee, H. Y. & Roth, B. (1993). *A closed-form solution of the forward displacement analysis of a class of in-parallel mechanisms*. Proceedings from: IEEE Conference on Robotics and Automation, 720-724 [in English].
3. Palko, A., Smrček, J., Skařupa, J. & Tuleja, P. (2010). *Robotika – Technické prostriedky pre automatizáciu výrobných procesov*. Prešov: Michal Vaško ISBN 978-80-7165-807-8 [in English].
4. Pavlovic, N, Keiner, R, Franke, H. J. (2006). *Systematic Development of Adaptronic Joints for Parallel Kinematic Structures*. In: SYROCO. Proceedings of the International IFAC Symposium on Robot Control (September 6-8, “006), Bologna, Italy [in English].
5. Smrček, J., Palko, A. & Tuleja, P. (2007). *Robotika – Uchopovacie efekторы*, Prešov: Michal Vaško. ISBN 978-80-8073-961-4 [in English].
6. Palko, A.(1991). *Modular Robotics system*. In: *Proceedings 2th Project Workshop on CIM and Robotics Applications*. Mihajlo Pupin Institute Beograd (Yugoslavia), 54-60 [in English].
7. Hebsacker, M. & Epfl, A. (1998). *The interpretation of the Kinematik of the Hexaelements - methodology for the interpretation of parallel tool machines* [in English].
8. Matička, R. & Talácko, J. (1991). *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. Praha: SNTL. ISBN 80-03-00567-1 [in English].
9. Cleary, K. & Brooks, T. (1993). Kinematic analysis of a novel 6-dof parallel manipulator. Proceedings from IEEE: *Conference on Robotics and Automation, 708 713*, San Diego, CA [in English].

УДК 62-585.1:004.94

Рудольф Янош, Антонія Банасова

ПРОЕКТУВАННЯ МОДУЛЯ ДЛЯ СКЛАДАННЯ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

Актуальність теми дослідження. Автоматизація – це наступний крок у підвищенні продуктивності та ефективності. Вона являє собою автономне управління цілою системою, а також процесами складання та виготовлення, що повністю усуває людський фактор від робочого процесу.

Постановка проблеми. Сьогодні роботи та маніпулятори є автономними. Автоматизовані системи зустрічаються практично в усіх галузях промисловості. Вони є необхідною частиною виробничого обладнання, однак їх також можна знайти в непромислових сферах. Їхній динамічний розвиток розповсюджується і на сервісну робототехніку. Щодо своєї продуктивності, вони досягли високого рівня, але їхній розвиток постійно розширюється шляхом вдосконалення їх підсистем, впровадження нових функціональних принципів або модернізації компонентів і елементів, що використовуються в конструкції таких механізмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Щоб задовольнити вимоги автоматизованих модулів, вони поступово вводилися в гнучкі виробничі системи. Це системи, що складаються з комп'ютерів і з'єднані за допомогою блоків керування. Вони характеризуються складністю, гнучкістю і передусім множинністю елементів. Такі гнучкі системи базуються на модульності та складаються з окремих модулів та підсистем, які можуть бути адаптовані за потребою.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. *Проектування автоматизованих роботизованих робочих місць, засноване на інтенсивному розвитку функціональних і особливо кінематичних структур робочого місця загалом.*

Постановка завдання. *До якого рівня можлива механізація чи автоматизація робочого процесу, залежить також і від рівня розвитку використовуваного обладнання. На сучасній стадії розвитку проектування автоматичного пристрою також є автоматизованим.*

Виклад основного матеріалу. *Стаття сфокусована на проектуванні маніпулятора, основним завданням якого є виконати складання. Аналіз завдання ілюструє принципову модель рішення, що також є відправною точкою для розробки універсального маніпулятора. Поточні вимоги практичного застосування роботизованих технологій викликали підвищені вимоги до їхніх функцій, характеристик і параметрів, які не завжди можна охопити традиційним підходом до їх проектування та конструювання.*

Висновки відповідно до статті. *У цій статті більш детально описані знання і розподіл запропонованих пристроїв і механізмів, що забезпечує початкове розуміння конструкції. Аналізуючи проблему і визначаючи необхідні параметри, була розроблена конструкція маніпулятора. Програмне забезпечення дизайну Festo також допомогло зробити правильний вибір.*

Ключові слова: маніпулятор; привод; складання; робототехніка; виробничий модуль.

Рис.: 4. Бібл.: 9.

Jánoš Rudolf – Eng., PhD, assistant professor, Technical university of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia.

E-mail: rudolf.janos@tuke.sk

Scopus Author ID: 55016528600

Antónia Baňasová – Eng., Technical university of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia.

E-mail: antonia.banasova@student.tuke.sk

Peter Marcinko, Mikuláš Hajduk, Maroš Palko

AUTOMOBILE WITH PNEUMATIC ENGINE

Urgency of the research. In the modern times, more often, there are alternatives to the drive, which help the environment. First of all, there are many engine alternatives, but also hybrids with low emissions.

Target setting. The main goal was to design a vehicle that powered by compressed air. Then take the vehicle to competition. For one pressure cylinder, this vehicle get over a longer track and the other category reached a higher speed.

Actual scientific researches and issues analysis. In the past few years were realized ten Aventics pneumobil competitions. That year was the eleventh grade of this pneumatic competition. This vehicle ran for the first ride in all categories. There are many publishers in the field of pneumatics systems. The issue of pneumatic motors is new in Slovakia, since it is one of the first pneumatic driven vehicles.

Uninvestigated parts of general matters defining. This article focuses on analysis of the proposed of pneumatic driven vehicle and few parts of this vehicle.

The research objective. The aim of the research was to design and assembly a compressed air-powered car that was supposed to attend in competition of pneumobil.

The statement of basic materials. The analysis consists of basic information about competition, by Aventics. The definition of the vehicle is described below. Based on this knowledge, the 3D model and frame of the vehicle are further developed. MKP-FEA simulations were performed on this frame. Basic information and parts of the pneumatic engine have been provided.

Conclusions. This article describes the design, simulations, parameters and basic parts of a pneumatically-powered vehicle. The design of a pneumatic driven vehicle is based on the rules by Aventics. Based on these rules, the development of this vehicle was realized. The next step was to analyse the frame that protect pilot in the event. One of the simulation was described and explained. Some of the basics were also described. The result of this student project is a vehicle that took place in the Hungarian town of Eger. The vehicle ran in each of category. There were a total of 51 teams from all over the world. Only 34 teams completed the technical inspection. In the "long distance" category finished in 15th place.

Keywords: pneumatic engine; competition aventics; pneumobil.

Fig.: 7. References: 4.

Problem definition. The concept of the car is based on the rules of the International Aventics Pneumobil Competition 2018. It is the first car of this type made in Slovakia. The car has a three wheel chassis with twenty six inch wheels and is powered by a pneumatic three cylinder engine with a volume of 1885 cm³ powered by compressed air. As an energy source, the air pressure of 20 MPa in a pressure vessel. The pneumobil does not produce any harmful emissions like gasoline and diesel combustion engines.

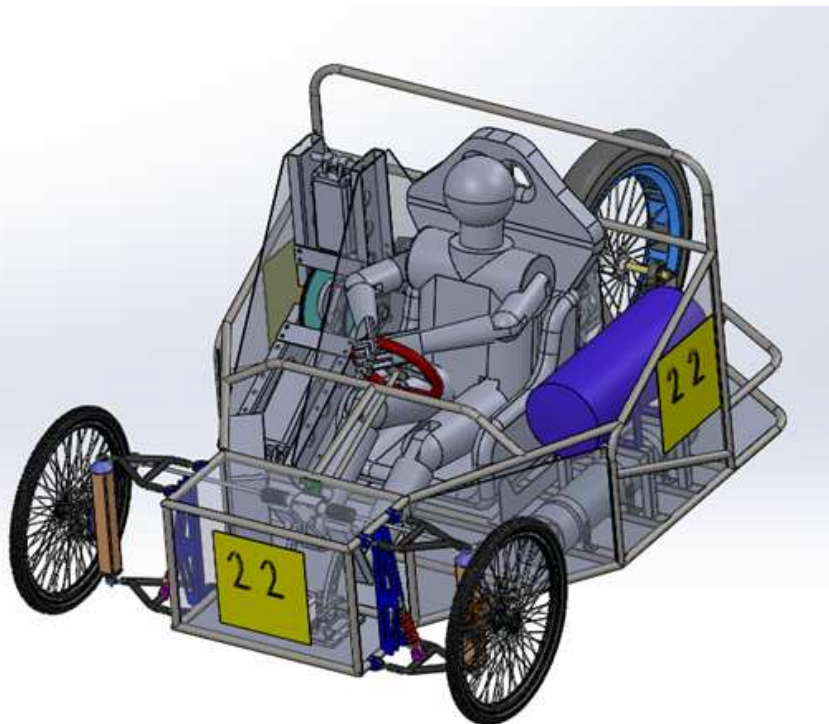


Fig. 1. Proposed vehicle model of pneumobil

The pneumatic engine consists of three star-shaped pneumatic cylinders which are gradually actuated and by means of a crank gear, the linear motion of these pistons is transformed into a rotary movement of the output shaft of the motor [1]. The torque of the motor is then transmitted by the chain gear to the rear drive wheel of the vehicle. The front wheels are mounted on suspension axles. Monitoring the vehicles operation and ensuring maximum drive efficiency is addressed by the Bosch Rexroth IndraControl L10 PLC system.

The length of the car is 2390 mm and the width is 1480 mm. The maximum height is 1113 mm. The weight of the entire vehicle is approximately 150 kg. The clearance height of the chassis is 88 mm. The clearance height can be adjusted by as required. The frame of the vehicle is made up of a welded steel structure designed to meet the relevant safety regulations to provide the driver with maximum protection in the event of an accident.

When designing the structure, the front impact of the car and its overturning was also simulated. The car is equipped with four-point safety belts and safety pneumatic elements. The pressure vessel is located on the side of the vehicle so that it is protected by a safety frame in the event of an accident. The car is equipped with all-wheel disc brakes and the braking system consists of two separate circuits, front and rear. Two brake cylinders are used, each for one brake circuit. The rear brake circuit includes a handbrake. Pneumatic elements and control unit for this car have been provided by sponsors Aventics and TBH Technik, s.r.o.

3D model and frame of the vehicle. The concept of the car is based on the rules of the competition. The 3D model has been designed to meet the limits of lengths, width and height. Fig. 1 shows model of the frame.

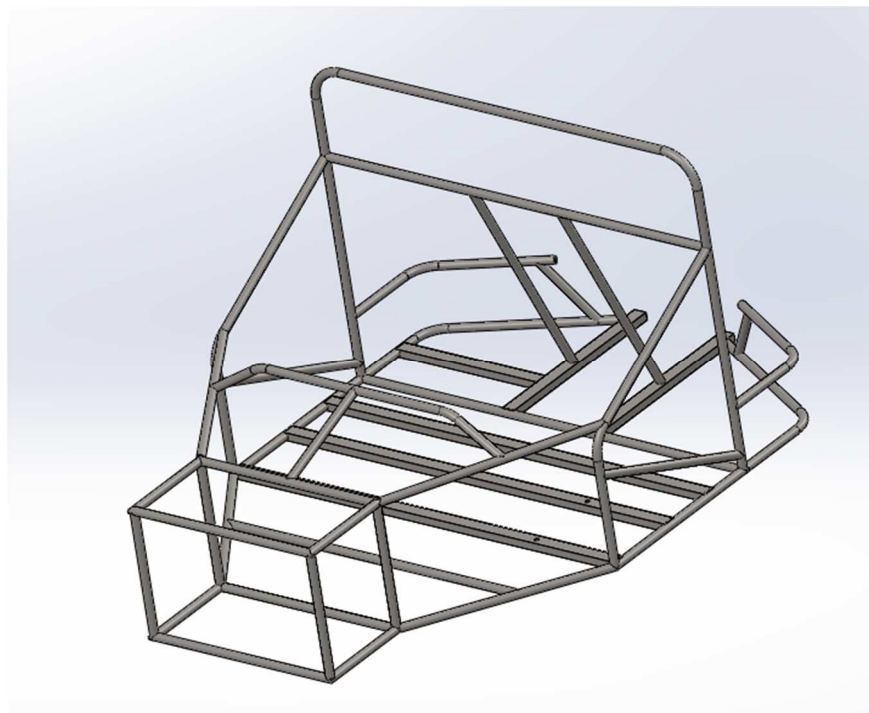


Fig. 2. 3D model of the frame

3D model and frame of the vehicle. The concept of the car is based on the rules of the competition. The 3D model has been designed to meet the limits of lengths, width and height. Fig. 2 shows model of the frame.

The pneumatic frame is made of welded steel tubes of 25x2 size and the auxiliary elements are made up of rectangular sections measuring 40x25x2. The seat of the pilot is located at the center of the frame over which is a protective armor to protect the rider in case of overturning. The whole structure of the frame is designed to provide the rider with maximum protection in the event of any accident. On Fig. 3 is real frame of the vehicle.



Fig. 3. Frame of pneumobil

The simulation simulated the perpendicular impact of the vehicle into an obstacle where the front part of the frame was loaded with a force of 1000N. Fig. 4 shows a frame shift which is minimal and the rider is safe. Protection of the rider is ensured in particular by the protective frame, the safety sports seat and the 4 point seat belts. The bottom of the vehicle is covered with 2 mm aluminium plate all over the area.

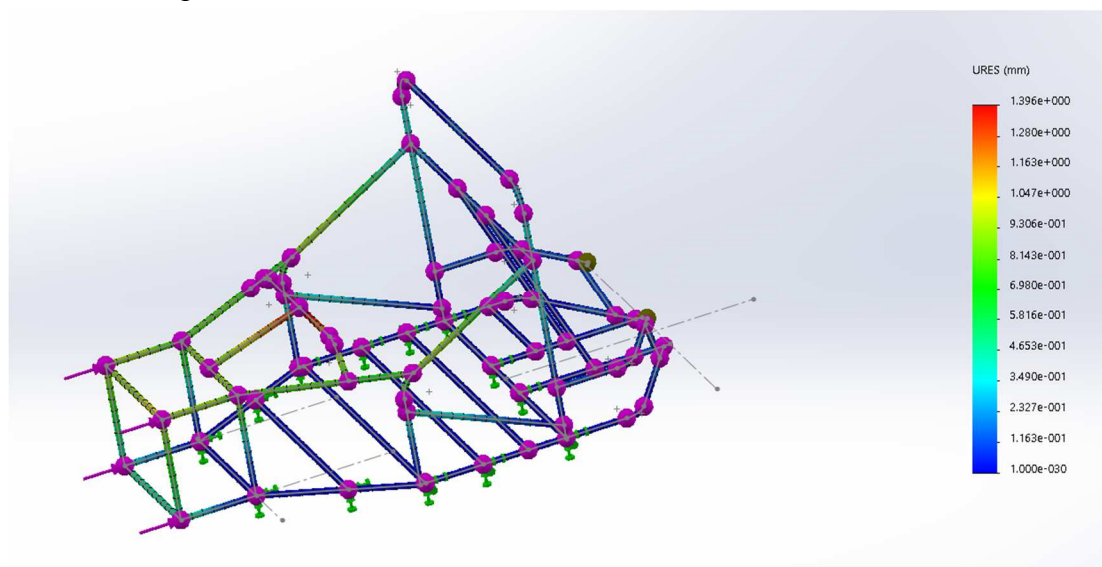


Fig. 4. Simulation of the frame

The pressure cylinder is located on the side of the vehicle, next to the rider's seat. Because of the center of gravity it is positioned as low as possible and is fastened with two steel strips and clamps. These strips and clamps are removable, allowing the pressure vessel to be replaced. Puffer container has a CE-Certificate: 2009/105 EC and 97/23 EC (P.E.D.).

Pneumatic engine. The engine consists of three linear pistons that are arranged in the star, the pistons being turned 120° to one another [2]. The pistons are mounted in steel frames and the piston tips are mounted on one crankshaft. The ends of the pistons are attached to the frame by means of pins containing the bearings and at the same time the pins connect the frames [3].

With their linear motion, they rotate together with the crankshaft, which with the help of sprockets and chains, transmits the torque through the gearbox to the driven wheel. The motor is attached to the frame by means of four bearings that are mounted to the frame by M16 screws. The engine is located on the right side of the frame. Fig. 5 shows star shaped engine.

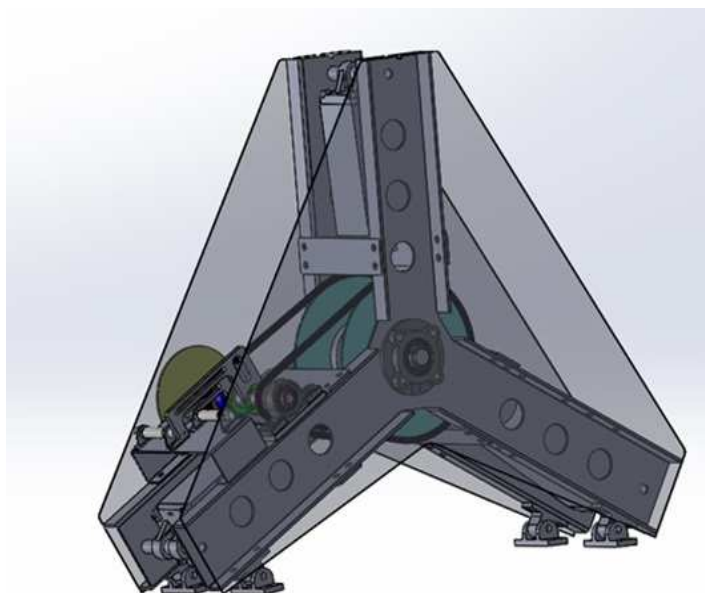


Fig. 5. Star shaped engine

This pneumatic star shaped motor consists of few parts. Primary components are two steel frames and three linear pistons, by Aventics. Another parts of the sprocket wheels, the crankshaft and the gearbox. At the beginning of each pistol is coupling pin. Frames connected together with stiffener platforms [4].

The drive system is presented with a two-speed gearbox that is inspired by automotive competitive vehicles. It uses a gearing system. Sprockets are used to facilitate the passage of higher axial distances. Gears are controlled by pushrods to provide torque transmission either through the first gear or the second permanent gear that drives the rear wheel.



Fig. 6. Pneumobil

The front wheels are fitted as well as on ordinary bicycles, so the wheel is mounted on the axis and attached to the nut. The rear wheel is mounted on the produced shaft, which is stored in the bearing houses. The rear axle is driven from the gearbox and is connected to a rear wheel that includes a freewheel. The rear wheel is attached to the shaft with lock rings and adjusting screw in the bearing house. Fig. 7 shows team on competition.



Fig. 7. Pneumobil in Eger, HU

Conclusions. This article describes the design, simulations of frame, parameters and basic parts of a pneumatically-powered vehicle. The design of a pneumatic driven vehicle is based on the rules by Aventics. Based on these rules, the development of this vehicle was realized.

The next step was to analyse the frame that protect pilot in the event. One of the simulation was described and explained. Some of the basics were also described. The result of this student

project is a vehicle that took place in the Hungarian town of Eger. The vehicle ran in each of category. There were a total of 51 teams from all over the world. Only 34 teams completed the technical inspection. In the “long distance” category finished in 15th place.

Acknowledgements. This contribution is the result of the project implementation: Aplikovaný výskum systémov inteligentnej manipulácie priemyselných robotov s neorientovanými 3D objektmi, (ITMS:26220220164), supported by the Research & Development operational Program funded by the ERDF.

References

1. Announcement and rules. (2018). <http://en.pneumobil.hu>. Retrieved from http://en.pneumobil.hu/pneumobile_2018/announcement_and_rules [in English].
2. Hajduk, M. & Tuleja, P. (2013). “*Základy pneumatických mechanizmov I.: Výroba, úprava a rozvod stlačeného vzduchu a vákuu*”, Technická univerzita v Košiciach, Košice. ISBN 978-80-553-1605-5 [in Slovak].
3. Hajduk, M. & Tuleja, P. (2018). “*Základy pneumatických mechanizmov II.: Pneumatické ventily*”, Technická univerzita v Košiciach, Košice. ISBN 978-80-553-2506-4 [in Slovak].
4. Palko, M. (2018). *Návrh experimentálneho vozidla poháňaného stlačeným vzduchom*. Technická univerzita v Košiciach. Košice. 1030 103102 [in Slovak].

УДК 629.33:621.541

Петер Марцінко, Мікулаш Гайдук, Марош Палко

АВТОМОБІЛЬ ІЗ ПНЕВМАТИЧНИМ ДВИГУНОМ

Актуальність теми дослідження. У наш час набувають поширення альтернативні двигуни на джерелах палива, які не забруднюють довкілля. Існує велика кількість різновидів двигунів на альтернативних джерелах палива, а також із гібридними установками.

Постановка проблеми. Основною метою є проектування автомобіля, що працює на стисненому повітрі. Взято участь у змаганнях пневматичних автомобілів. При тому ж самому тиску в циліндрі цей автомобіль подолав більшу відстань, а в іншій досяг більш високої швидкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні кілька років взято участь у десяти змаганнях Aventics з пневмомобілем. В цьому році був одинадцятий раз участі в змаганнях. Цей автомобіль фінішував першим у всіх категоріях. У галузі пневматичних систем опубліковано багато праць. Питання пневматичних двигунів є новим у Словаччині, представлений пневматичний транспортний засіб є одним із перших автомобілів із пневматичним приводом.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У цій статті основна увага приділяється аналізу запропонованого автомобіля з пневматичним приводом й деяких його елементів.

Постановка завдання. Мета дослідження полягала в тому, щоб спроектувати і зібрати автомобіль із пневматичним приводом для участі у змаганнях пневмомобілів.

Виклад основного матеріалу. Аналіз складається з основної інформації про турнір Aventics. Наведено опис автомобіля. Продовжено дослідження 3D-моделі рами автомобіля. Для цієї рами було виконано моделювання МКР-FEA. Представлено основну інформацію про пневматичний двигун і його деталі.

Висновки відповідно до статті. У цій статті описано конструкцію, моделювання, параметри й основні частини пневматичного автомобіля. Конструкція пневматичного автомобіля спроектована за правилами Aventics. На основі цих правил була здійснена розробка автомобіля. Наступним кроком був аналіз рами, яка захищає пілота від дорожньо-транспортних пригод. Описано й пояснено один із варіантів моделювання. Деякі основні моменти були також пояснені. Результатом цього студентського проекту є автомобіль, який представлено в угорському місті Егер. Автомобіль брав участь у всіх категоріях, де загалом змагалися 51 команда з усього світу. Тільки 34 команди завершили технічний огляд. У категорії «довга дистанція» пневматичний автомобіль посів 15-е місце.

Ключові слова: пневматичний двигун; змагання Aventics; пневмомобіль.

Рис.: 7. Бібл.: 4.

Peter Marcinko – PhD student Technical University of Kosice, Department of Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia.

E-mail: peter.marcinko@tuke.sk

Scopus Author ID: 57200138054

Maroš Palko – PhD student Technical University of Kosice, Department of Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia.

Mikuláš Hajduk – Prof., Ing., PhD, Professor, Technical university of Kosice, head of Department of Robotics, Komenskeho Park 8, 042 00 Kosice, Slovakia

Scopus Author ID: 35826618400

Jan Semjon, Jozef Kostka, Peter Mako

USING THE SIMULATION PROGRAM FOR THE DESIGN AND OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION LINE

Urgency of the research. Increasing productivity while maintaining sufficient production quality is one of the main criteria for maintaining competitiveness. An appropriate way is to automate and robotize the production process. In order for robotization to succeed, all design steps need to undergo in-depth research.

Target setting. The aim is to design a robotic device (robotic line) capable of increasing the production of components in a smaller workspace from 91,000 to 160,000 per year for each of the 7 types of components.

Actual scientific researches and issues analysis. The introduction of robotic devices into production systems is devoted to a large part of the publication. In general, it is possible to state that the robot deployment is specific and depends on the particular manufacturing process. For this reason, it is necessary to carry out a new analysis of the suitability of the robot for each manufacturing process, supported by off-line simulation.

Uninvestigated parts of general matters defining. This article focuses on a specific workplace solution that uses one type of robot delivered by a parent company. The use of a different robot type with more appropriate parameters was not feasible in financial terms.

The research objective. The aim is to design the most suitable placement of production machines against the position of the industrial robot. Then analyse all the robot's working moves so that it can be manipulated by one of the 7 types of component on the line, with a production increase of 483,000 pieces per year.

The statement of basic materials. Simulating the production workspace in the offline environment allows you to optimize your design before it is actually created on the selected desktop. This reduces the development costs and saves the total time when the work is completed.

Conclusions. The article describes the problems of design, optimization and simulation of a robot equipped workplace. For optimizing workplace was precisely defined robot type when, which limited the use of the robot from better parameters. Using the robot can increase workplace productivity while reducing the work area. With the implementation of the proposal, the target was achieved to increase workplace output by 483,000 components/year.

Keywords: robot; simulation; program; optimization.

Fig.: 5. Table: 1. References: 5.

Problem definition. At present, high demands are placed on car manufacturers and their subcontractors. Higher production, lowering costs, reducing staffing and, in particular, lowering product prices. Due to high demands, they are forced to come up with new technologies and solutions to make production processes more efficient. Because people's performance can only be increased to a certain extent, it is necessary to automate production and replace human activity with robots, thereby greatly reducing costs. The aim of the article is to automate the production process that will be used to process castings. Castings are components for the automatic transmission. The designed robotic workstation will handle 7 types of components. The role of the robot will, in the first step, be to take out half-finished products with input conveyors. Subsequently, they will be stored in production machines located within the robot range. After machining the respective surfaces, the robot's job is to remove the finished parts and store them on the output conveyors. The following steps are described in the simplified form. Firstly, an optimal layout of machines, devices, and industrial robots is proposed. Once the placement design has been completed, simulation will proceed. The Fanuc Roboguide simulation program is used to verify the required robot position, which makes it possible to clearly determine whether a given machines and equipment layout is required in place. In the simulation environment, individual work cycles are checked and the solution is judged to be sufficient for both current and increased production. A solution that suits it is considered to be a standard, according to which the 3D assembly of the production line is drawn with the relevant drawing documentation. The designed 3D assembly of the production line will consist of the main base under the robot and its control unit, protective fencing, conveyors and attachment brackets for individual machines and devices [1; 2].

Environment and components description. The environment in which the production process is located is the section of machining of aluminium alloy castings cast in the foundry operation.

The components that will be the resultant product of this process are one of the components of the automatic gearbox, Fig. 1, which is used to transmit a high torque of up to 3500 Nm for heavy goods vehicles.

In total, seven different types of parts are machined. The current production has been set at 91.000 components per year of each type. Currently, production is planned for 160.000 components per year of each type, so the automated line will be designed to produce 160.000 components.

These are components of Deckel 217, 218, 219, Bremsdeckel 222, Kolben 018, 025, and Pumpendeckel 005, Fig. 1. The technology for each piece is different. Each piece has a precise design, on which devices it will be machined and in what order.



Fig. 1. Machined components in the manufacturing process

Analysis of working space and used machinery and equipment. The area of work space on which production facilities are located is approximately 61.6 m² with dimensions of 8.4 x 7.33 meters. A new auto line will also be placed on this desktop. Thus, the newly designed workplace must also meet the external dimension condition (max. 8.4 x 7.33 m). The current deployment of machinery and equipment is shown in Fig. 2.

The individual machines and equipment are distributed according to machined parts in four areas. The area 1 operated by one worker is used to work on the four components of Deckel 017, 018, 019 and Kolben 018. The outer periphery of the entire workpiece is machined in this area. In future designs, due to the number of machined parts in this area, it is necessary to deploy machinery and equipment so that machines from area 1 are as close as possible to the chosen robot and the time the robot needs to move as short as possible.

The composition of the machines and equipment in region 2 is the same as in area 1, therefore it is possible to use this area also for machining parts from area 1. This area is intended mainly for the first part of machining, Kolben 025 (267), Bremsdeckel 222 and Pumpendeckel 005, in which also the outer periphery of the whole piece is machined. In the case of the Bremsdeckel 222, one more of the inner dimensions is machined.

These machined components are further machined either in the 3 or 4 region. Thus, either workpieces in areas 2 and 3 or in regions 2 and 4 are machined. A both combinations, one worker works. A second part of the Bremsdeckel 222 and Pumpendeckel 005 is machining work in area 3. Each part is machined on a CNC milling machine as required. In area 4 runs machining in the second part of the component Kolben 025 (267). On the mounting press a small case is first pressed and then tested in the DHP (device for checking the tightness of the moulded case) for its tightness. In the event of an error, is component thrown out.

The workplace is bounded by a walkway designed for employees, storage space and another manufacturing processes. During a 12-hour change, a 3-fold measurement of the outer dimensions and a 1-fold measurement of the contour by means of the Zeiss coordinate measuring device of the area 1, 2 and 3 are performed. One measurement of the outer dimensions takes about 10 minutes and the contour measurement is approximately 30 minutes.

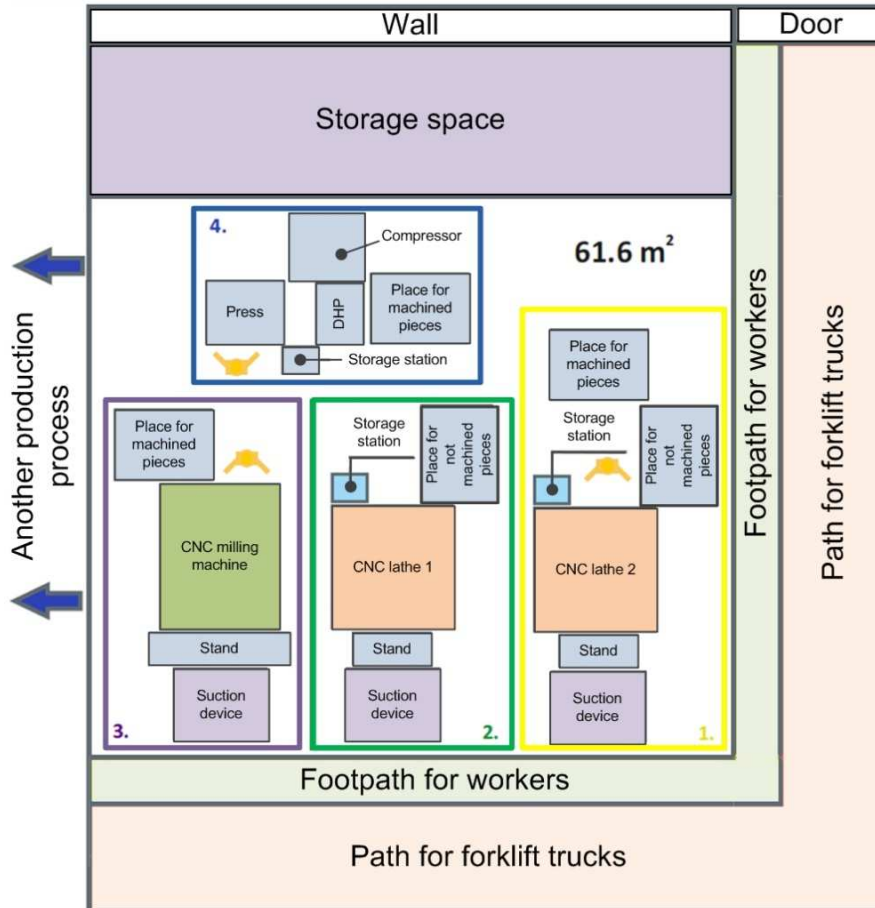


Fig. 2. The current layout of machinery and equipment

Design of robotic cell. The new robotic lines (cell) solutions are designed to produce 160,000 units of each type, that is, a total of 1,120,000 units of all components per year. The design of the workplace must include one FANUC M-20i / 25 industrial robot with two DMG Mori CL 1500 CNC lathes, the FANUC a-D21MiB5 ADV CNC milling machine, the DHP, the Kaeser SXC 8 compressor, four belt conveyors, the Sony XC56 camera system, three Ringler RE 201 suction outlets, a transfer station, stands for an external power source and packing boxes.

The use of the selected industrial robot FANUC M-20i / 25 with the R-30iB control unit is due to his presence in the parent company in Germany. The robot has six degrees of freedom with a maximum load of 25 kg. The maximum range is 1853 mm and the robot accuracy is +/- 0.02 mm [4].

The CNC machines to be used in the designed production line for machining parts are the Lathe DMG Mori CL 1500 CNC and CNC Milling Machine FANUC a-D21MiB5 ADV. Each of these machines is equipped with an external power supply located on the stand and a Ringler RE 201 suction device for dust and dirt extraction. The press which serves to press the small case and the DHP station that inspect the tightness of the component is the device designed by the parent company Schüle Druckguss in Germany. The Kaeser SXC 8 compressor is required for the DHP station.

Belt conveyors are designed by mk Technology Group according to their own requirements. Because the line will be machining two different parts at once, we need four convey-

ors. The width of the conveyor belt must be chosen so that all types of parts of different dimensions can be loaded. Two conveyors will serve to move unworked parts into a line and two to transfer finished parts from the line. In order to recognize the position of the incoming parts in the line, an industrial 2D Sony XC56 camera is used.

Design of machinery and equipment placement. The position of the machines and equipment must meet certain requirements such as the size of the built-up area, the availability and effective shifting of the robot to the required positions, common access to conveyors and access for maintenance. By optimizing the initial four proposals, a proposal has been developed that satisfies each defined requirement, Fig. 3.

The size of the built-up area is approximately 44.4 m². Thus, compared to the currently built area of 61.6 m², approximately 17 m² will be saved. The outside dimensions of the production line are 8.39 x 7.31 m. The proposed robotic line under this proposal will fit into the area where the current production process lies. For both CNC lathes, maintenance access is possible from the required side. The robot control unit is located near the entrance door and access to the conveyor is on the same side. From the point of view of the movement of the robot, the positioning of the machines is very good.

When transferring parts from conveyors to CNC lathe 2 or into CNC lathe 1, the robot performs a small movement. The location of the suction devices and stands for the external power source also suits. This proposal is considered final. According to this proposal, the workplace in the Fanuc Roboguide program is simulated and later the construction design of the robotic line is proposed.

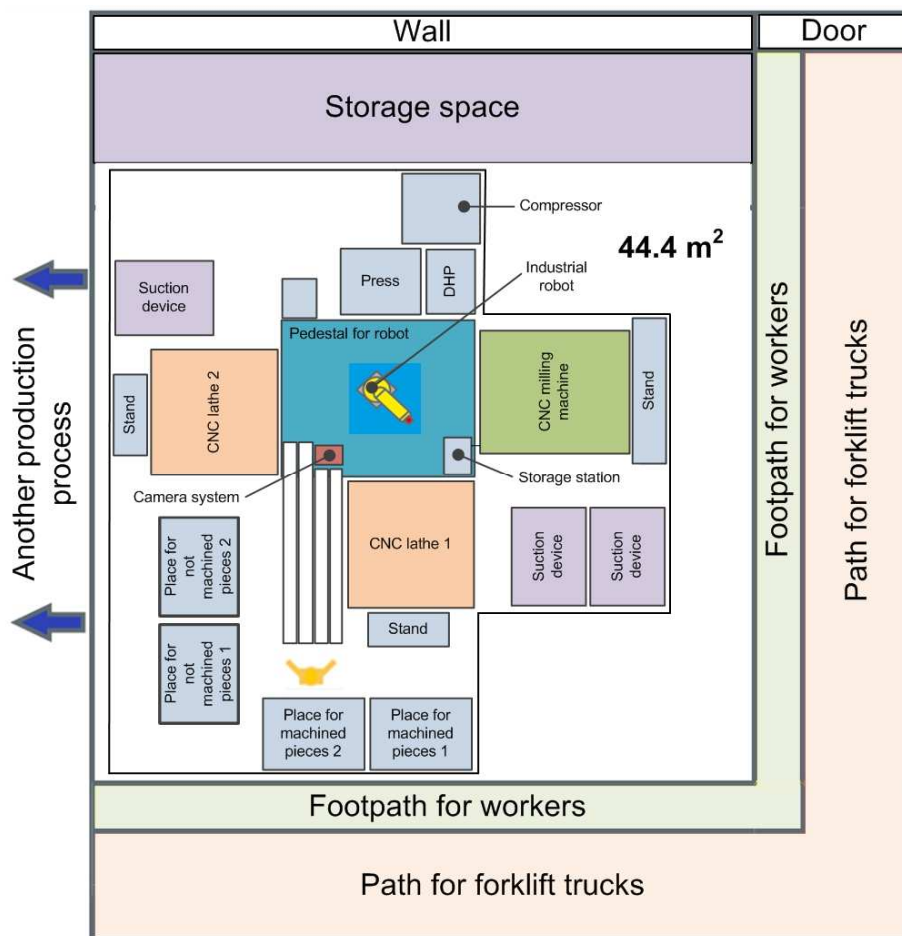


Fig. 3. Final design robotic cell

Workplace simulation in off-line environment. In order to make sure that the layout of the machines according to the final design also suits the robot's reach, and how long the individual process cycles run during operation, the Fanuc Roboguide simulation overwork is used. Once the workspace has been simulated, it will be able to clearly determine whether the robot is able to perform the predicted activity and, at the same time, we will be able to calculate the total production that the robot can perform according to the measured time cycles.

The problem area model is used to describe relationships between objects and properties in the problem area. The automated line model describes the general concept of the problem area without considering the details that are required for the design and implementation of the mechatronic system.

According to the following model, the planned production line could be formulated as follows: Suppose the production line is already ready for machining the exact types of parts. There are defined types of component, machine tools and industrial robots. The operator stores the selected parts on conveyors. Using a camera to identify the position of the parts, the robot grabs the workpiece from the conveyor and, depending on which part of the machining line, knows which machine to insert it into. The line can handle two different types of parts. The robot grasps the workpiece from the conveyor for which the machine tools are free. [4].

In the working environment of the Fanuc Roboguide program, individual machines, equipment and, in particular, the industrial robot are placed according to the final design, Fig. 4. The robot, control unit, machines, conveyors, fencing and boxes are 3D CAD models imported from the Fanuc library. Those machines and equipment which are from another manufacturer must be insert separately, respectively. Models that are not freely available must be modelled separately. These are the DMG Mori CL 1500 CNC lathe, Ringler RE 201 and DHP. Since the robot will handle parts of different dimensions, it is necessary to design a custom end effector [5].

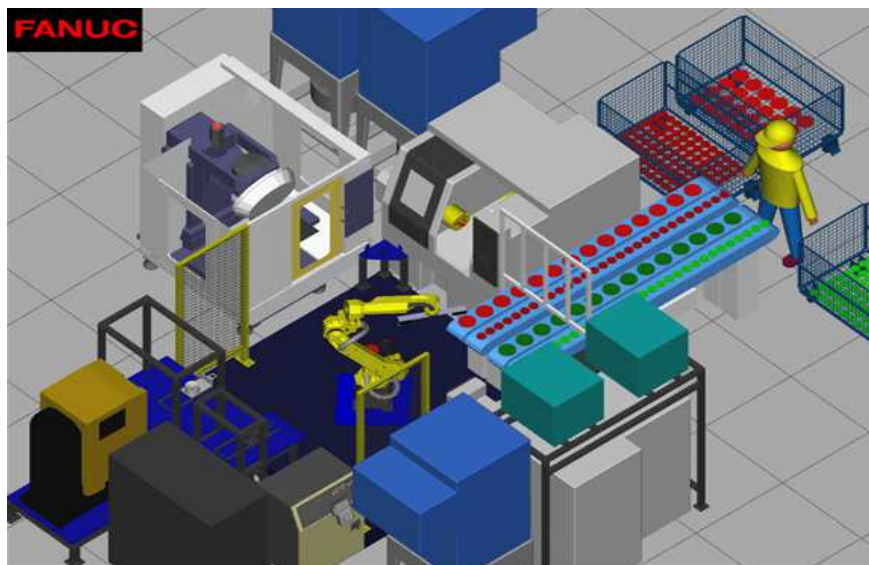


Fig. 4. 3D model of machines and equipment in Roboguide

Verify cycle times after optimization using simulation. Before using the finished program in production, it is necessary to verify that the robot with the program can produce the number of components we assumed. In order to get the highest productivity on the proposed production line, we optimized some work cycle and process values for current state, Table. Verification cycle times is realized in Roboguide simulation. In simulations, we can measure not only the individual cycle times but also the total working cycle for one or more machined parts. If the simulation shows that the production line can produce machined parts according to optimized times, the program can be used.

Optimization of work cycles and processes

Parts	Status	Operation (s)														Total
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	
Deckel 217	Current	0	0	0	3.8	0	12.2	12.2	0	0	0	0	0	0	13	35
	Optimization	0	0	0	3.6	0	9	9	0	0	0	0	0	0	13	31.6
Deckel 218	Current	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	13	29
	Optimization	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	13	27
Deckel 219	Current	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	13	30
	Optimization	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	13	30
Bremsdeckel 222	Current	0	0	0	21	10	0	0	0	0	0	0	0	0	13	50
	Optimization	0	0	0	21	10	0	0	0	0	0	0	0	0	13	50
Kolben 025 (267)	Current	12.9	0	0	0	0	9	9	0	4.9	3.4	0	0	0	13	49.2
	Optimization	12.9	0	0	0	0	9	9	0	4.9	3.4	0	0	0	13	49.2
Kolben 018	Current	0	30.1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	12.1	11.8	13	92.5
	Optimization	0	18.2	9.4	0	0	0	0	0	0	0	0	10	7.5	13	64.1
Pumpendeckel 005	Current	0	0	0	24.3	5.2	0	0	0	0	0	10.3	0	0	13	58.8
	Optimization	0	0	0	21.3	5	0	0	0	0	0	8.2	0	0	13	53.5

The view of the 3D design of the manufacturing robotic line is shown in Fig. 5.

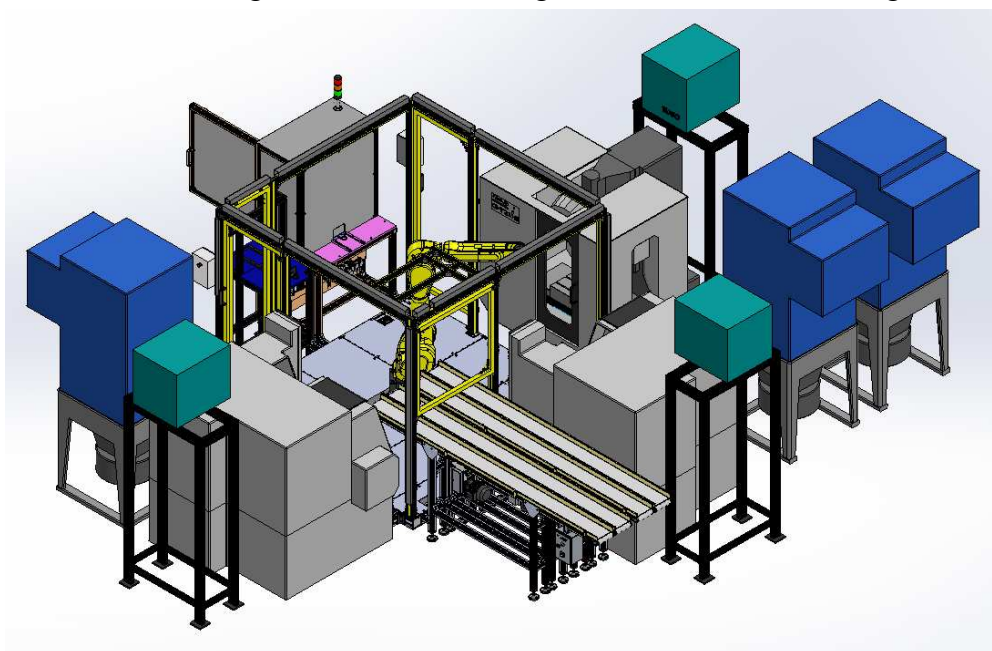


Fig. 5. View of the designed production line in SolidWorks

Conclusions. The article describes the problems of design, optimization and simulation of a robot equipped workplace. For optimizing workplace was precisely defined robot type when, which limited the use of the robot from better parameters. Using the robot can increase workplace productivity while reducing the work area. With the implementation of the proposal, the target was achieved to increase workplace output by 483,000 components / year.

Acknowledgements. This publication is the result of the project implementation: Research modules for intelligent robotic systems (ITMS: 26220220141) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF.

References

1. Vagas, M. (2016). Methodological process for creation of palletizing. *Technical sciences and technologies*, 6 (4), 189-193 [in English].
2. Hajduk, M. (2018). Principles of Formation of Flexible Manufacturing Systems. *Technical Gazette*, 3 (25), 649-654 [in English].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Parameters Robot - Fanuc. (n.d.). *www.fanuc.eu*. Retrieved from <https://www.fanuc.eu/sk/en/robots/robot-filter-page/m-20-series/m-20ib-25> [in English].

4. Balaz, V. (2013). *Design of automated robotized system with two robots*. Computer Aided Production Engineering. (pp. 131-136), ISBN: 978-83-63569-72-3 [in English].

5. Roboguide Environment. *www.fanuc.eu*. from <https://www.fanuc.eu/sk/en/robots/accessories/roboguide> [in English].

УДК 004.42:681.5

Ян Семйон, Йозеф Костка, Петер Мако

ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ Й ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА

Актуальність теми дослідження. Підвищення продуктивності при збереженні достатньої якості продукції є одним з основних критеріїв підтримки конкурентоспроможності. Це стосується автоматизації й роботизації виробничого процесу. Для того щоб роботизація була успішною, усі етапи проектування повинні пройти поглиблене дослідження.

Постановка проблеми. Метою є створення роботизованого пристрою (роботизованої лінії), здатного збільшити виробництво компонентів з 91 000 до 160 000 на рік у меншому робочому просторі для кожного з 7 типів компонентів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Велика частина публікації присвячена впровадженню роботизованих пристроїв у виробничі системи. Загалом, можна зазначити, що розробка робота є специфічною й залежить від конкретного виробничого процесу. З цієї причини необхідно провести новий аналіз придатності робота для кожного виробничого процесу, ґрунтуючись на автономному моделюванні.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У цій статті основна увага приділяється конкретному рішенню на робочому місці, в якому використовується один тип робота, що поставляється компанією-виробником. Використання іншого типу робота з більш підходящими параметрами було неможливе у фінансовому плані.

Постановка завдання. Мета полягає в тому, щоб спроектувати найбільш підходяще розміщення виробничих машин навколо положення промислового робота. Проаналізувати всі робочі рухи робота, щоб він міг маніпулювати одним із 7 типів компонентів на лінії зі збільшенням виробництва на 483 000 штук на рік.

Виклад основного матеріалу. Моделювання робочої області в автономному режимі дозволяє оптимізувати конструкцію до того, як вона буде створена на обраному робочому місці. Це зменшує витрати на розробку й економить загальний час виконання роботи.

Висновки відповідно до статті. У статті описуються проблеми проектування, оптимізації та моделювання робочого місця, обладнаного роботом. Для оптимізації робочого місця був точно визначений тип робота в умовах коли існувало обмеження на використання робота з крацими параметрами. Використання робота може підвищити продуктивність робочого місця та скоротити робочу зону. Із впровадженням цієї пропозиції була досягнута мета збільшення обсягу виробництва на 483 000 компонентів у рік.

Ключові слова: робот; моделювання; програма; оптимізація.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 5.

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

E-mail: jan.semjon@tuke.sk

Scopus Author ID: 55571411200

Jozef Kostka – Student of engineering studies, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechatronic (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: jozef.kostka.student@tuke.sk

Peter Mako – PhD student, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: peter.mako@ztsvuu.sk

UDC (07)621.7,621.8

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-68-73

*Peter Tuleja, Pavlo Mamontov***APPLICATION OF INDUSTRIAL PNEUMATIC COMPONENTS
IN THE EDUCATIONAL PROCESS**

Urgency of the research. *Modern production requires schools to have a skilled workforce. In general, schools can not fulfill this requirement at the same time.*

Target setting. *The aim of the project described in the article is to build an education system that would give students the necessary experience to handle the challenging tasks of technical practice in designing and deploying automated devices.*

Actual scientific researches and issues analysis. *The results of the diploma project, to which both authors co-authored, were used as the basis for this article. Problems in the area described are known and, in principle, eliminated by a change in access to the educational process at universities. The project described in the article should be a pilot project.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *Despite attempts to solve the problem of training a skilled workforce, without material support or cooperation with technical practice, there is no hope for success.*

The research objective. *The aim of the described project is to set up a training system in which the student would collect as much practical experience as possible for the practice.*

The statement of basic materials. *Resources to solve this problem practically do not exist, because the breadth of the problem is very big. The success of the project in the future will be heavily dependent on the enthusiasm of followers (students) in developing the job. Of course, provided sufficient financial coverage.*

Conclusions. *The pilot project is in the process of being developed. There is currently support for its continued existence, but there are no stable sources of financial inputs yet.*

Keywords: *training workplace; automation; logical controller; pneumatic components.*

Fig.: 7. References: 10.

Introduction. At present, the economy of European countries is rapidly rising. To ensure necessary workforce for running companies is not sufficient merely quantitative aspect; started the era in which companies „call“ for qualified workforce.

In our country, in Slovakia, this trend is most pronounced in automated operations, especially in automotive.

If we want to satisfy the labor market in this respect, it is essential to prepare well graduates of secondary schools and universities.

On secondary schools, the companies themselves started to implement the so named „dual education“. Universities are slightly behind in this area.

Therefore, the idea of modifying the teaching process and incorporating more practical activities with which students would confront in the course of study was created in the field of our department and institute.

Practical educational process. We began to implement a form of teaching at training workplaces.

This model is applied to the teaching of robotics, automation techniques, but also to more elementary disciplines, fluid mechanisms, in particular compressed air driven mechanisms.

In order to prepare our students in this field, we have already been purchasing the professional training workplaces of companies FESTO and SMC, where students can put into the issue of the use of compressed air at all control levels: mechanically, manually, by compressed air and electronically.

There are 4 workplaces (from each of the mentioned companies two), Fig. 1a, 1b.

Currently, educational documentation (lectures, training tutorials) is being prepared for these workplaces and methodical teaching procedures are being gradually elaborated.

An essential feature of this project is that students are confronted with an elementary base that is the same as that used in technical practice.



*Fig.1. Training workplaces:
a – FESTO; b – SMC*

Source: authors foto.

Students thus learn not only how to use the given components but also gain practical skills and knowledge about their construction and application specifics.

The educational process is then divided into three stages: circuit assignment according to the wiring diagram, drawing the wiring diagram according to the wiring circuit and searching for and troubleshooting the wiring circuit according to the wiring diagram.

This model has proved to us in many ways and helped to improve the quality of processing projects solved in the thesis.

The model, however, does not allow the student to become familiar with the problem of complex assignment as is customary in practice.

The project solver from the customer will get a basic description of the problem (mostly dimensions, shape and weight of the manipulated component and starting position and ending position of the handling task).

The rest is on his skill, knowledge and experience.

The university graduate can only rely on the experience which ones gain.

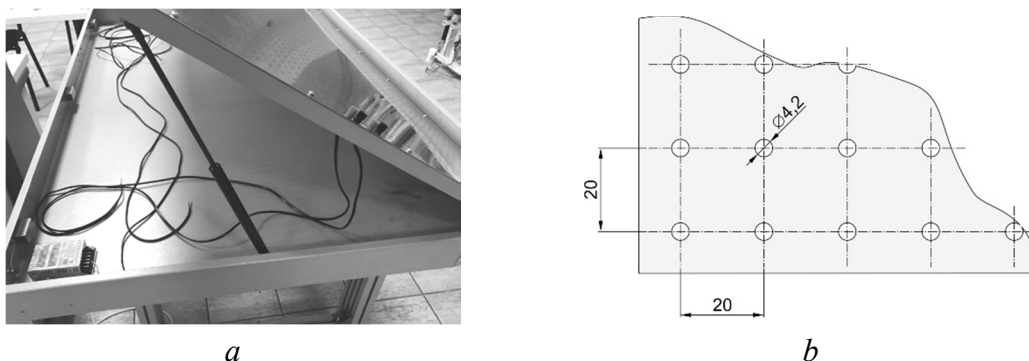
Students can gain experience while at school only if it is provided on real devices.

That is why we have begun to build a system of preparation for our students at the institute.

New model of educational process

Its essential part is the stand for building simple workplaces from pneumatic elements. Stand emerged as an outgoing solution to the graduate thesis of our graduate.

Its construction consists of a steel frame with a deflectable lid made of perforated stainless steel sheet, Fig. 2, a.



*Fig. 2. Stand for a educational system:
a –deflectable lid; b – holes distribution*

Source: authors.

Circular perforation holes have a diameter of 4,2 mm. Their distribution is shown in Fig. 2, b. This makes it relatively easy to fix the components needed for the project.

At the beginning of the semester, the student gets the task entry formulated as it is in the firms. E. g.: «Move component, Fig. 3, a, from the point A to point B in accordance with the layout plan, Fig. 3, b».

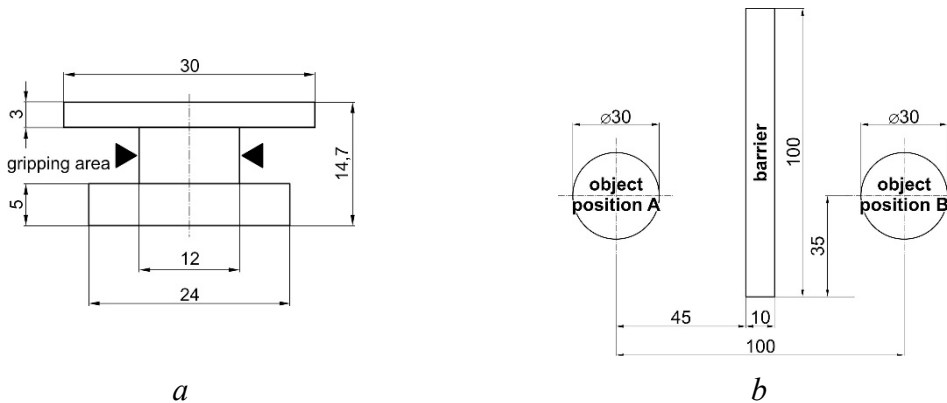


Fig. 3. Task entry:
a – parameters of component; b – layout plan

Source: authors.

At the beginning of the solution, the student presents variants of the kinematic arrangement of the future manipulation mechanism in the form of a diagram. From these variants, the teacher selects a specific design with which the student is still working, Fig. 4.

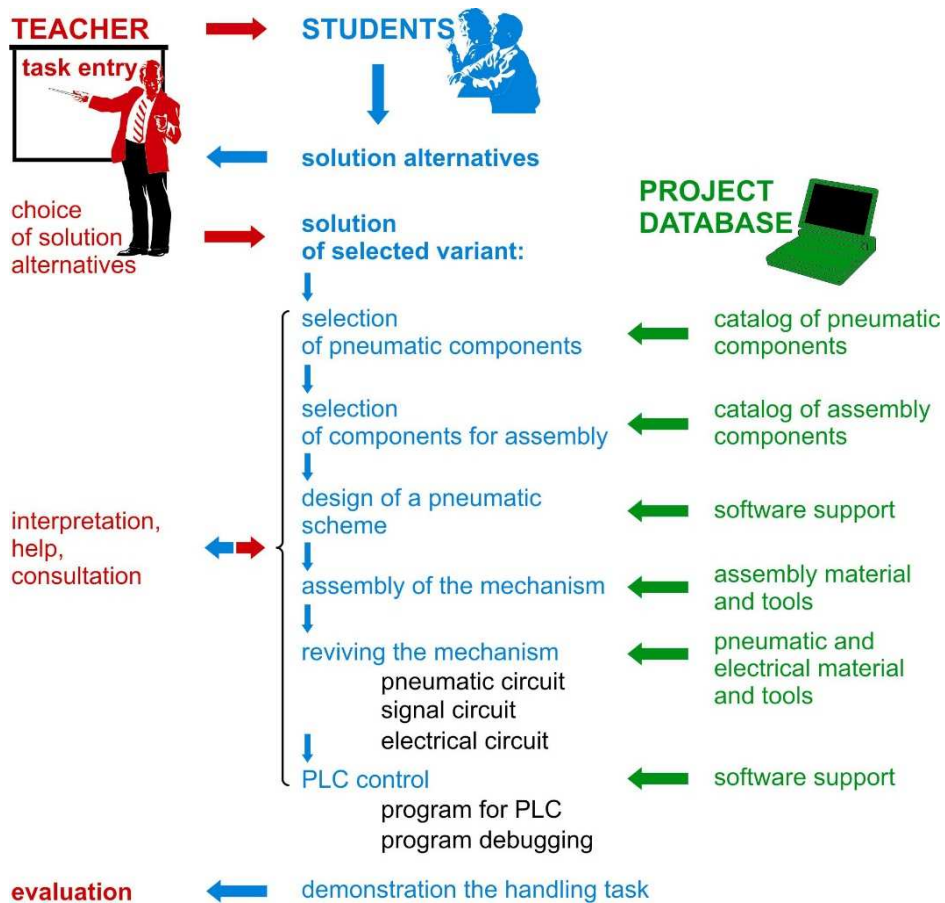


Fig. 4. Model of teaching plan

Source: authors.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

As this is a pilot project of this type at the department, we plan to create an internal catalog of available pneumatic components (ctually existing and equipped with necessary components). To him (at the elaboration stage),the student will have at his disposal a set of mofules required to couple the individual pneumatic components to one another, respectively for clamping them onto the perforated palte of the stand mounting plate (see Fig. 4).

In this way, by combining suitable pneumatic modules and auxiliary modules, a real mechanism can be designed to enable the desired handling cycle to be achieved.

As a matter of course refers to the physical implementation of the proposed mechanism of the recovery and the creation of the control program.

Therefore, the control apparatus is also necessary to implement the mechanism. This is ensured by the small controller of SIEMENS LOGO! ..0BA6, which together with the expanding module provides the ability to control 12 outputs and receive ambient signals on 16 inputs, Fig. 5. The signals connected as inputs to the logic unit are provided by magnetic contactless sensors, mechanical switches, or inductive and optical sensors, which provide a switching element as information on reaching the end or other important position of the mechanism.

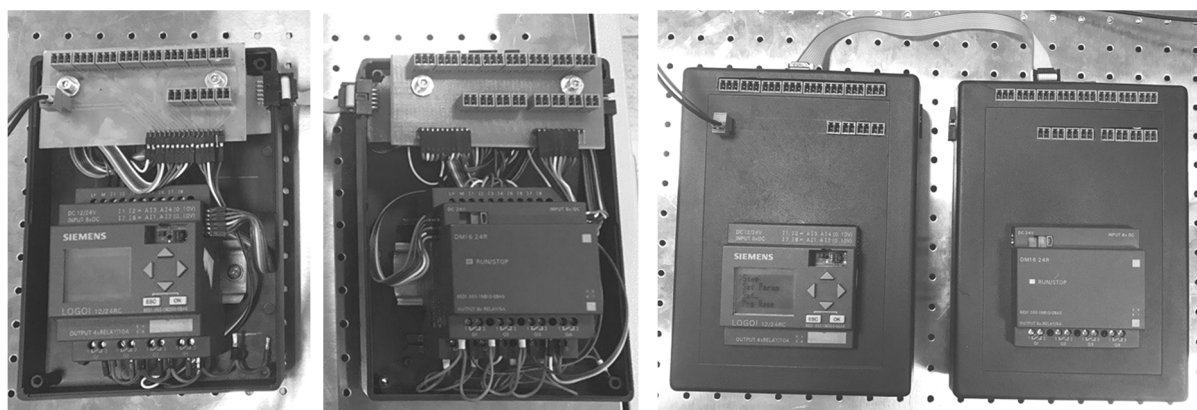


Fig. 5. Modified controller

Source: authors foto.

After its completin (recovery) will also be available electronic multi-position movement linear unit. It is based on a stepper motor. It allows the connection of the pneumatic components to create a multi-position TTT module which can be controlled by the otput signals from the controller, Fig. 6.

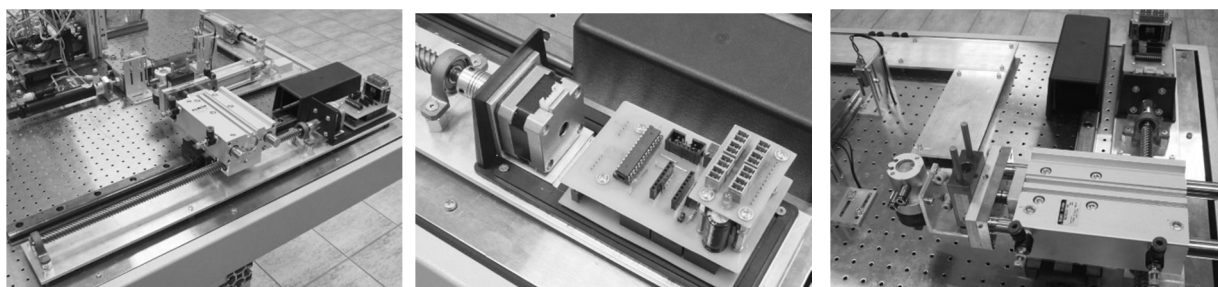


Fig. 6. Multi-position linear unit

Source: authors foto.

At present, there are approximately 40 pneumatic components from the world's, manufacturers (SMC, FESTO, HOERBIGER-ORIGA, BOSCH-Rexroth, MECMAN, AVENTICS-Emerson), linear lines (HIWIN), and the above-mentioned assembly of interconnection modules made of different Al-profiles.

As a support for the overall educational environment, ready-made assemblies are also available which serve exclusively to gain the necessary experience in programing logic controllers, Fig. 7.

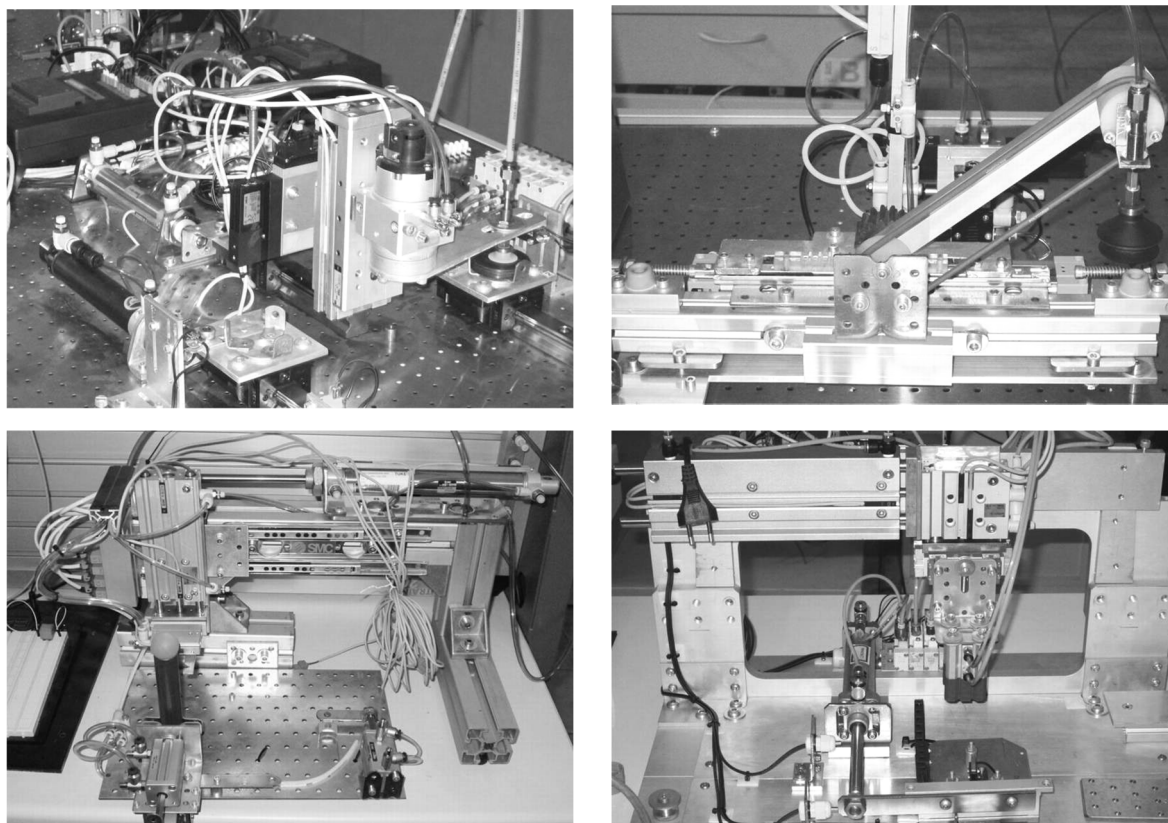


Fig. 7. Models for a PLC programming training

Source: authors foto.

We must not forget that we are educating future engineers, so the student's own solution must be supported by the appropriate calculations for the pneumatic circuit as well as for the selection of individual components (power and geometric analysis).

By limiting the whole project, the fact remains that at a certain moment it is possible to install and operate a limited number of mechanisms (total built-in area and I/O capacity of the controller's signal) on the stand surface.

The solution seems to be building more stands and buying more controllers.

Only such a complex project implemented in teaching units as well as outside the teaching process gives at least a minimal basis of experience for the realisation of future larger projects of our graduates in practice.

The co-author of this article and the author of the diploma project described above is now successfully employed in a Slovak firm focused on industrial and power engineering.

Conclusion. The project itself has yet to be implemented from the material resources of the department, and its expansion in the future will probably require funding from a grant or other agency supporting the development of similar activities.

We believe that we will be given the necessary support and the project will be transformed into a realization output in the form of an educational means to support one of the semester subjects conducted in teaching process at our department.

This contribution is the result of the project implementation: Research modules for intelligent robotic systems (ITMS: 26220220141) supported by the Research & Development operational Program funded by the ERDF.

References

1. Góts, I., Smrček, J., Rimár, M., Perečinská, V., Henriczyová, T., Tuleja, P. & Šidlovská, E. (2000). *Bewertung der Qualität der universitären Lehre in technischen Fächern*. TU in Košice [in Slovak].
2. Hajduk, M. & Tuleja, P. (2013). *Základy pneumatických mechanizmov*. Výroba, úprava a rozvod stlačeného vzduchu a vakuu, Edícia vedeckej a odbornej literatúry, TU v Košiciach, Strojnícka fakulta [in Slovak].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Stejskal, T. & Tuleja, P. (2003). Úrovne automatického riadenia mechanizmov. *Acta Mechanica Slovaca*, 7, 141-144 [in Slovak].
4. Tuleja, P. (2015). Energy saving when using compressed air as an instrument of environmental protection and economic balance of the company. *Global Management and Economics*, 1, 1, 128-133 [in English].
5. Tuleja, P. (2008). Netradičný spôsob riadenia jednoduchého pneumatického manipulátora. *Acta Mechanica Slovaca*, 12 [in Slovak].
6. Tuleja, Peter - Petruška, P. (200). *Počítačom podporovaná výučba pneumatických prvkov v laboratórnych podmienkach [Computer supporting education of pneumatic components in laboratory clause]*. Počítače v teórii a praxi. Košice : TU-SjF [in Slovak].
7. Tuleja, P., Semjon, J. (2015). Energy audit of automated operation. *Transfer inovácií*, 31, 147-150. ISSN 1337-7094 Acces of: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/31-2015/pdf/147-150.pdf> [in English].
8. Tuleja, P. & Varchola, M. (2011). Metodický model prípravy študentov k zvládnutiu problematiky praktického nasadzovania automatických zariadení pracujúcich na báze stlačeného vzduchu. *International Scientific Herald*, 21(2), 106-113. ISSN 2218-5348 [in Slovak].
9. Tuleja, P. & Varchola, M. (2008). *Model výučby programovania logického kontroléra pre malé aplikácie*. Lisbon Strategy as a Determinant Factor of European Integration in the Sphere of Education and Science: international scientific herald: collection of Scientific Articles Based on the Materials of the 16th International Scientific-Practical Conference Held, 6-9. Užhorod : ZDU, 2008 P. 17-21. - ISBN 978-966-2195-32-3 [in Slovak].
10. Varchola, M. & Tuleja, P. (2010). *Metodičeskaja mode podgotovki studentov dlia primenenii na praktike avtomatizirovannyh ustrojstv rabotajuščich na osnove szatogo vozducha*. Zbirknik naukovich prac Kamyanec-Podiskoho nacionanoho universitetu imeni Ivana Ogienka: serija pedagogična. Kamyanec-Podisky: K-PNU imeni Ivana Ogienka, 2010 P. 188-191 [in Russian].

УДК (07)621.7,621.8

Петер Тулея, Павло Мамонтов

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПНЕВМАТИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Актуальність теми дослідження. Сучасне виробництво вимагає від освітніх закладів оволодіння випускниками професійними навичками. Разом з тим школи не можуть виконати цю вимогу.

Постановка проблеми. Метою проекту, описаного в статті, є створення навчальної системи, яка дасть студентам необхідний досвід для вирішення складних завдань під час практичної діяльності при проектуванні й застосуванні автоматизованого устаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для цієї статті були результати дипломного проекту, в якому обидва автори були співавторами. Проблеми в описаній сфері відомі й загалом усунені шляхом зміни підходу до навчального процесу в університетах. Описаний у статті проект є пілотним.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Вирішення проблеми підготовки кваліфікованої робочої сили потребує матеріальної підтримки або співпраці з виробництвом.

Постановка завдання. Метою описаного проекту є створення навчальної системи, в якій учень буде отримувати якомога більше практичного досвіду для навчання.

Виклад основного матеріалу. Ресурсів для вирішення цієї проблеми практично не існує, тому що проблема дуже істотна. Успіх проекту в майбутньому буде сильно залежати від ентузіазму послідовників (студентів) у розробці проекту. Безперечно, за умови достатнього фінансування.

Висновки відповідно до статті. Пілотний проект перебуває в процесі розробки. Нині підтримується його подальше існування, але поки немає стабільних джерел фінансування.

Ключові слова: навчальне робоче місце; автоматизація; логічний контролер; пневматичні компоненти.

Рис.: 7. Бібл.: 10.

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

E-mail: peter.tuleja@tuke.sk

Scopus Author ID: 55570858300

Mamontov Pavlo – Eng., technical, PHU Elektra, s. r. o (Ltd.), Zborov nad Bystricou 644, 023 03 Zborov nad Bystricou, Slovakia.

E-mail: pavelmamontov@yahoo.com

UDC 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-74-81

Darina Hroncová

CONSTRUCTION OF EQUATIONS OF MOTION OF MULTIBODY SYSTEMS AND COMPUTER MODELING

Urgency of the research. Computer models mean new quality in the knowledge process. Using a computer model, the properties of the subject under investigation can be tested under different operating conditions. By experimenting with a computer model, we learn about the modelled object. We can test different machine variants without having to produce and edit prototypes.

Target setting. The development of computer technology has expanded the possibility of solving mathematical models and allowed to gradually automate the calculation of mathematical model equations. It is necessary to insert appropriate inputs of the mathematical model and monitor and evaluate the output results through the computer output device. The target was to describe the mathematical apparatus required for mathematical modeling and subsequently to compile a model for computer modeling.

Actual scientific researches and issues analysis. When formulating a mathematical model for a computer, the laws and the theory we use are always valid under more or less idealized conditions, and operate with fictitious concepts such as, material point, ideal gas, intangible spring, and the like. However, with these simplifications, we describe a realistic phenomenon where the initial assumptions are only met to a certain extent. In order for the results not to be different from the modeled reality, it is to be assumed that a good computer model arises gradually, by verifying and modifying it, which is one of the advantages of MSC Adams.

Uninvestigated parts of general matters defining. The question of building a real manipulator model. Based on the above simulation, it is possible to build a real model.

The research objective. Using MSC Adams to simulate multiple body systems and verify its suitability for simulating manipulator and robot models. In various versions of the assembled model we can monitor its behavior under different operating conditions.

The statement of basic materials. In computer simulation, MSC Adams-View is used to simulate mechanical systems. It has an interactive environment for automated dynamic analysis of parameterized mechanical systems with an arbitrary structure of rigid and flexible bodies with geometric or force joints, in which act gravity, inertia, experimentally designed contact, friction, aerodynamic, hydrodynamic or electromechanical forces and have integrated control, hydraulic, pneumatic or electromechanical circuits.

Conclusions. Working with a mathematical model on a computer opens space for specific synthesis of empirical and analytical method of scientific knowledge. Working with the computer model carries the characteristic features of classical experimentation. It represents a qualitatively new way of solving tasks that can not be experimented with on a real object. The result is the equivalence of the computer model and the object being investigated with the features and expressions chosen as essential, with accuracy sufficient to the exact purpose.

Keywords: multi body systems; kinematic pairs; transformation matrices; software simulation.

Fig.: 9. References: 17.

Introduction. There is a variety of machines and devices consisting of spatial mechanisms and space-bound mechanical systems. We find them in material handling machines as well as in precise mechanics products. They are also parts of various manipulators and robots. In order for the spatial mechanisms to be introduced more rapidly into practice and in order to increase their performance we need to replace the old computational practices that were largely intuitive and suitable for individual cases or small groups of mechanisms with more general, accurate and easily algorithmizable methods which are suitable for use with computing. The following chapters of the paper illustrate the matrix methods of compiling equations of motion. The matrix notation is an optimal approach due to its compactness, efficiency of applying various transformations and the suitability for using computers in numerical calculations.

Structured mechanics were dealt with in works [1-9], more recently in [10-17]. Methods of mechanism description are described in works of Denavit and Hartenberg [5] and others. General methods of dynamic analysis of planar mechanisms are attributed to authors as Brát [1], Kozlov, Makaričev, Timofejev, Jurevič [2], Bejczy [3], Koplik, Leu [8], Haug [7], Stejskal [9], Valášek [9; 12], Shabana [10; 11] and others. In our work, after the introductory theoretical part we show simple manipulator models compiled in MSC Adams-View.

Geometrics. Matrix notation of the kinematics of the spatial motion of the point and the body is basis for the development of kinematic and dynamic methods of analysis and is described in the work of the authors [1-3]. Its compactness proved successful in investigating the simultaneous movements of body systems. Next, the use of theory of simultaneous movements of simple models of open kinematic chains is described. The geometry of the sys-

tem of bodies in simultaneous movements is described on a manipulator model with 3 degrees of freedom (3 DOF) (Fig. 1).

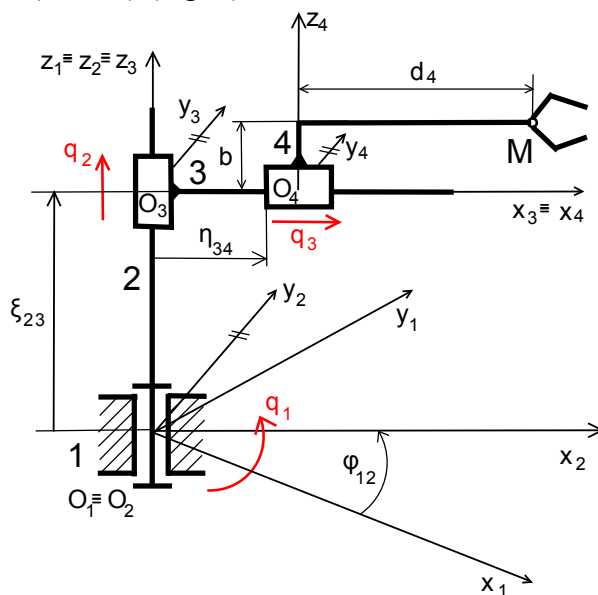


Fig. 1. Manipulator with 3 DOF $q_1 = \varphi_{12}$, $q_2 = \zeta_{23}$, $q_3 = \eta_{34}$

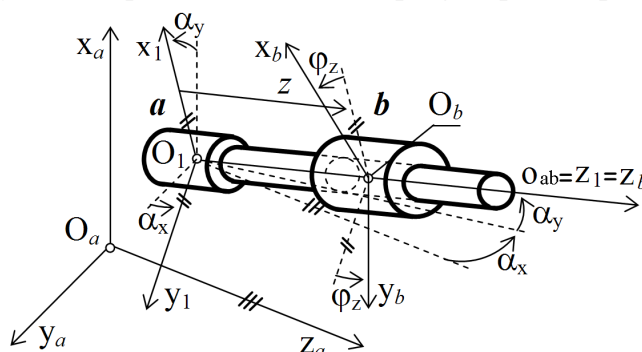


Fig. 2. Coordinate systems

Model of a robot with 6 degrees of freedom. The theory of simple open kinematic chains has direct use in the kinematic analysis of the various manipulators and robots that are often referred to as such chains. The kinematic scheme of one of these robots is shown in Figure 3. The chain has seven members and has 6 degrees of freedom. It can occupy any position in the space and can therefore appropriately manipulate with any object. The movement of the member 7 is expressed by the basic decomposition to the reference point M, which is the end point. The transformation matrix is determined:

$$T_{12} = T_{rot6} \begin{pmatrix} 12k \end{pmatrix} T_{rot6} \begin{pmatrix} 12p \end{pmatrix}. \tag{1}$$

$$T_{23} = T_{trans3}(\zeta_{23k}) T_{trans3}(\zeta_{23p}). \tag{2}$$

$$T_{34} = T_{trans3}(d_3) T_{trans2}(\eta_{34k}) T_{trans2}(\eta_{34p}). \tag{3}$$

$$T_{45} = T_{z2}(d_4) T_{rot5} \begin{pmatrix} 45k \end{pmatrix} T_{rot5} \begin{pmatrix} 45p \end{pmatrix}. \tag{4}$$

$$T_{56} = T_{trans1}(\zeta_{56k}) T_{trans1}(\zeta_{56p}). \tag{5}$$

$$T_{67} = T_{trans1}(d_6) T_{rot4} \begin{pmatrix} 67k \end{pmatrix} T_{rot4} \begin{pmatrix} 67p \end{pmatrix}. \tag{6}$$

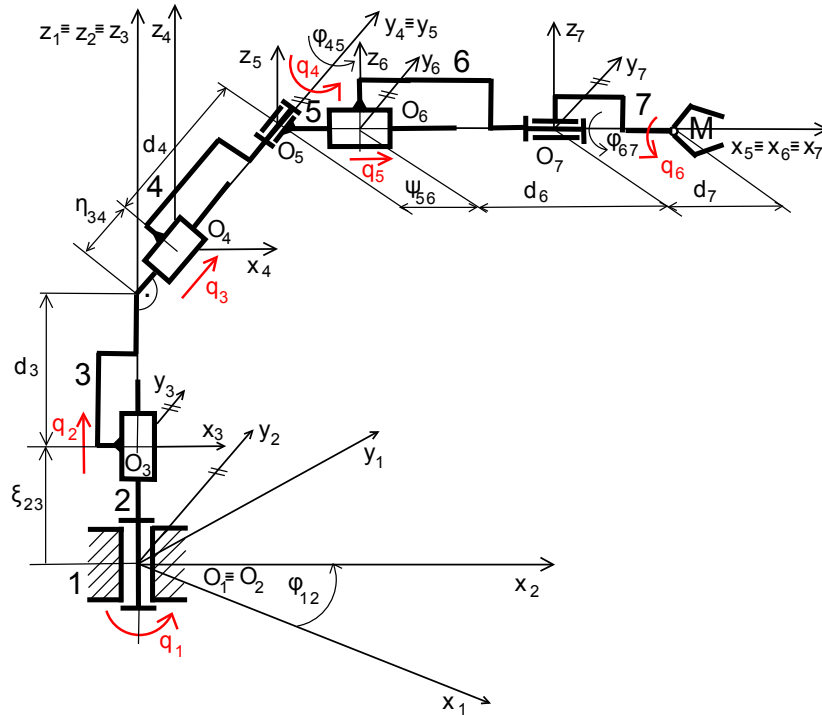


Fig. 3. Model of the manipulator with 6 DOF

Dynamic analysis. Dynamics of kinematic chains is described by Lagrange equations of the second kind [10; 11]. Generalized coordinates q_1, q_2, \dots, q_n are used to determine the members position. Equations of motion [2] are compiled in the form:

$$\sum_{i=1}^n a_{0k}^i \ddot{q}_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n a_{1k}^{ji} \dot{q}_j \dot{q}_i + a_{2k} = Q_k, \quad k = 1, \dots, n \quad (7)$$

where:

$$a_{0k}^i = \sum_{l=\max(i,k)}^n S(\mathbf{B}_l^i \mathbf{I}_l \mathbf{B}_l^{kT}) \quad (8)$$

$$a_{1k}^{ji} = \sigma_{ji} \sum_{l=\max(i,j,k)}^n S(\mathbf{B}_l^{ji} \mathbf{I}_l \mathbf{B}_l^{kT}), \quad \sigma_{ji} = \begin{cases} 1 & ak \ j = i \\ 2 & ak \ j \neq i \end{cases} \quad i, j, k = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$a_{2k} = gS \left(\Theta_3 \left(\sum_{i=k}^n m_i \mathbf{B}_i^k \mathbf{r}_i \right)^T \right), \quad (10)$$

$$\mathbf{B}_i = \mathbf{T}_1 \mathbf{T}_2 \dots \mathbf{T}_i = \prod_{k=1}^i \mathbf{T}_k \quad i = 1, \dots, n, \quad (11)$$

a_{0k}^i – coefficients of accelerations;

a_{1k}^{ji} – coefficients of velocities;

a_{2k} – coefficients of gravitation.

Equations (7) in matrix notation:

$$\mathbf{A}_0 \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{a}_{\dot{\mathbf{q}}} + \mathbf{a}_g = \mathbf{a}_F \quad (12)$$

With modification:

$$\ddot{\mathbf{q}} = \bar{\mathbf{a}}_F - \bar{\mathbf{a}}_{\dot{\mathbf{q}}} - \bar{\mathbf{a}}_g \quad (13)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Equations (13) show that the motion of individual members of the kinematic chain have dynamic effect on the other members of the chain. Similarly forces acting on individual members of the kinematic chain have dynamic effect on the other members of the chain. Dynamic coefficients are given by the actual configuration of the kinematic chain.

Computer analysis of robot models. Computer modeling can be divided according to the modeling process to mathematical modeling and "multibody" modeling. Mathematical modeling describes the whole model and its behavior using mathematical equations and algorithms.

Mathematical equations defining the motion – equations of motion and equations describing kinematic dependencies between the individual chain members are used to define the properties of the elements of the solved model. However, derivation of these equations is time consuming and laborious and therefore this procedure is only suitable for simple models, for models with a low degree of freedom. Matlab, Maple, Mathematica are kinds of software used here.

Matlab – is an environment that allows numerical computations, modeling and simulation.

Maple – is a comprehensive computational software that allows analytical calculations, numerical calculations, graphical display of results and creation of a document describing the workflow.

Mathematica – is focused on numerical and matrix tasks in various areas of engineering issues.

In multibody modeling we do not directly describe a mathematical model of the whole system. By using multi-body modeling software, we can model the real elements of the system by using a predefined bodies of respective geometry. There are a number of softwares that have different hardware requirements and designer skill requirements. Some of them are Matlab / SimMechanics, Matlab / Simulink, Dynast, MSC Adams.

Matlab / SimMechanics – this Matlab extension was developed to address kinematics and rigid body dynamics.

Matlab / Simulink – this Matlab module was developed to create and solve dynamic systems using block diagrams.

Dynast – allows simple mathematical calculations and simulations.

MSC Adams – uses object-oriented programming environment with graphical output. Systems are defined directly by geometry of bodies, kinematic bonds, force effects and motion generators.

Software realization of the manipulator. The simulation of manipulator arm movement and the positioning of the basket at its end are shown in Fig. 4 a-f.

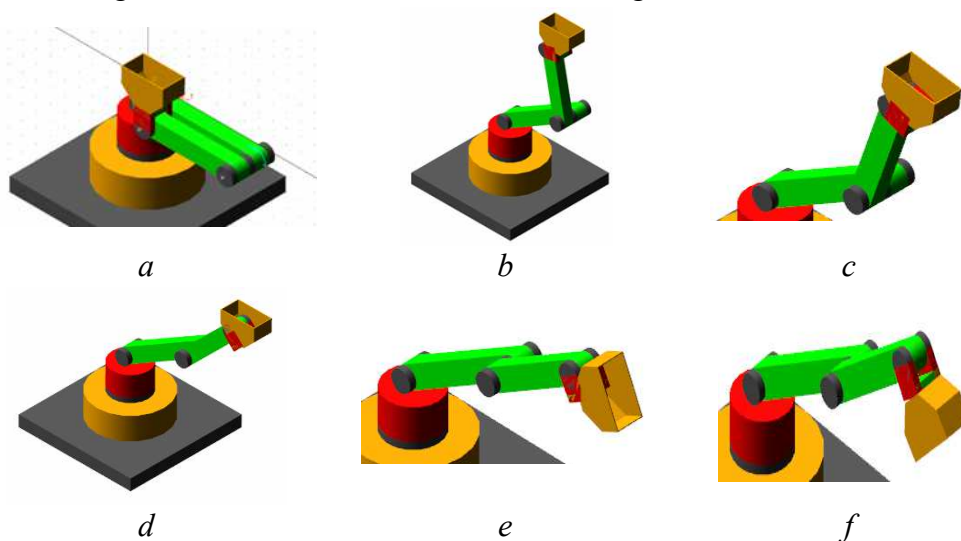


Fig. 4. Model of the manipulator

The position of the basket after processing the results of the simulation in the Postprocessor is shown in Figure 5.

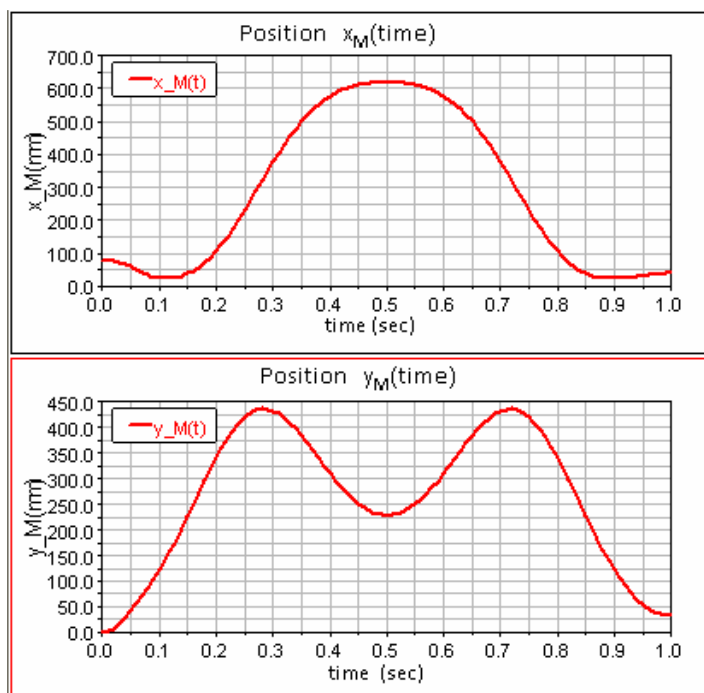


Fig. 5. Model of the of the manipulator – position x_M and y_M

The trajectory of the end effector of the manipulator is shown in Fig.6.

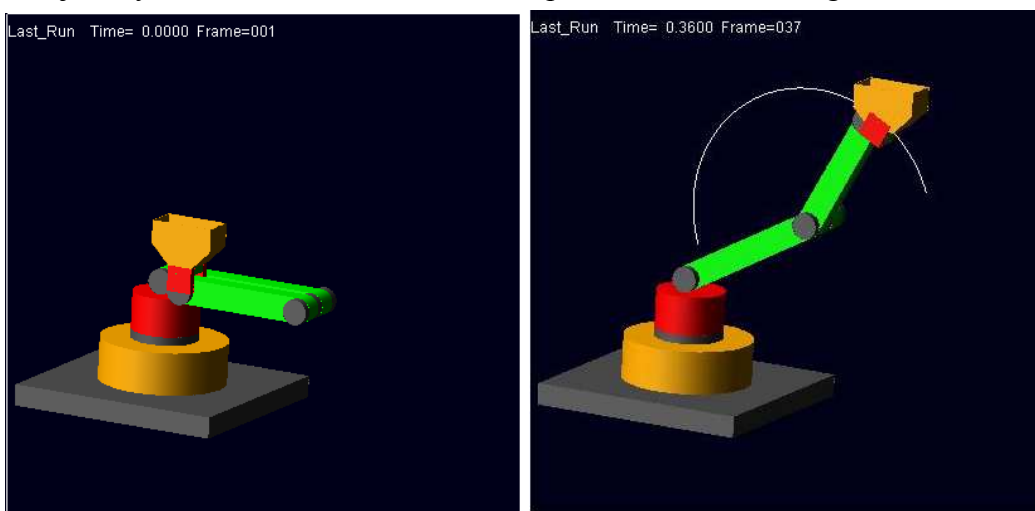


Fig. 6. Model of the robot and trajectory of the end effector

The torques in joints of the arms is shown on (Fig. 7) and (Fig. 8).

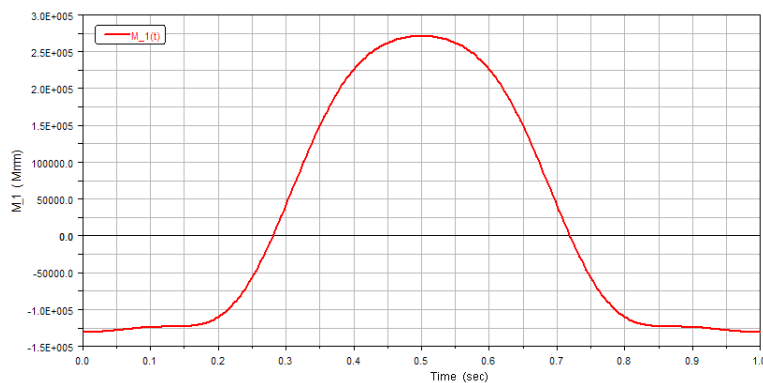


Fig. 7. The torque M_1

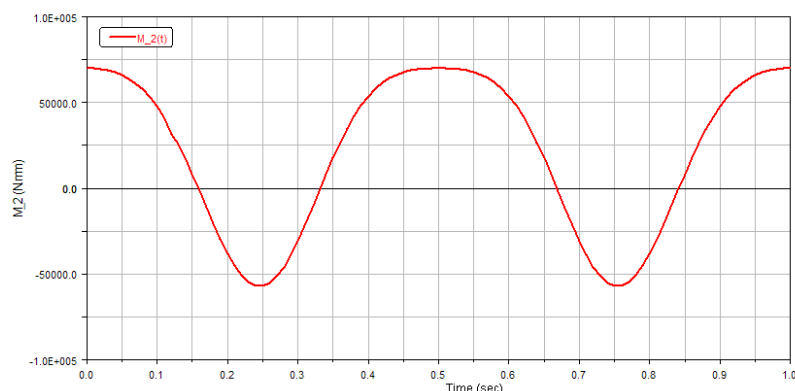


Fig. 8. The torque M2

The moments M1 and M2 in rotational joints and the balancing moment for the positioning of the basket of the mobile manipulator after processing in the Postprocessor is shown in Fig. 9.

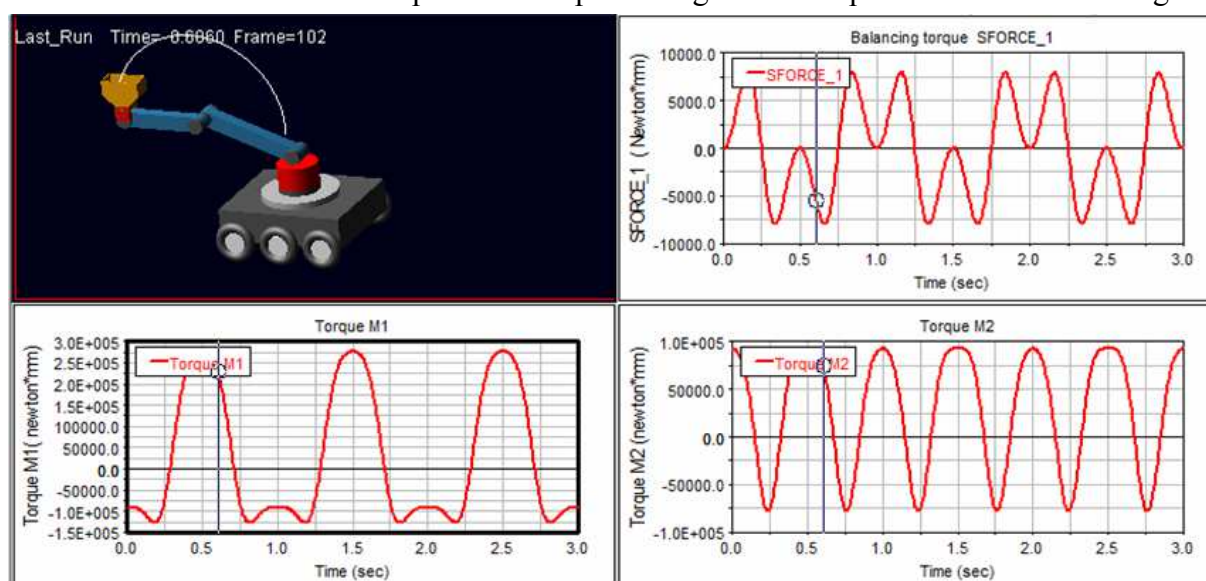


Fig. 9. Balancing torque SFORCE_1

Thanks to computer simulation, we can easily modify individual model parameters and track their impact on the results. One of the advantages of computer simulation is the speed and great flexibility in solving various problems [12-17].

Conclusion. User friendly environment with graphical output of the simulation allows to define the parts of the model by using a number of basic geometric shapes. Systems are defined directly by geometry of bodies, kinematic bonds, force effects, motion generators. It allows to shorten the test time, reduce the risk of error, obtain input data and the possibility of solving complex mechanical systems with many degrees of freedom.

Acknowledgement. This work was supported in part by the Ministry of Education of the Slovakia Foundation under grant projects VEGA No. 1/0872/16, grant projects KEGA No. 018TUKE-4/2018, grant projects VEGA No. 1/0389/18, grant projects VEGA No. 1/0731/16 and FGV/2016 supported by Faculty of Mech. Eng. at Technical University of Kosice.

References

1. BRÁT, V. (1981). Maticové metódy v analýze prostorových väzaných systému, Academia, Praha [in English].
2. KOZLOV, V. V., MAKARIČEV, A. V., TIMOFEJEV, E. I., & JUREVIČ, E. I. (1984). *Dynamika riadenia robotov*. Nauka, Moskva [in English].
3. BEJCZY, A. K. (1974). *Robot Arm Dynamics and Control*. NASA, California [in English].

4. BAKŠI, J. (2017). *Riadenie dvojčlánkového manipulátora s premenlivou záťažou*, Diplomová práca, TU Košice [in Slovak].
5. DENAVIT, J. & HARTENBERG, R. S. (1955). *A Kinematic Notation for Lower Pair Mechanisms Based on Matrices*, Journal of Applied Mechanisms [in English].
6. VITKO, A., JURÍŠICA, L., BABINEC, A., DUCHOŇ, F., & KEÚČIK, M. (2010) *Some Didactic Problems of Teaching Robotics*. Proceedings of the 1st International Conference Robotics in Education. Location: Bratislava, Sept. 16-17, 2010, Bratislava, Slovak University of Technology in Bratislava, 27-30. ISBN 978-80-227-3353-3 [in English].
7. HAUG, E. J. (1984). *Elements and methods of computational dynamics*. Computer Aided Analysis and Optimization of Mechanical System Dynamics, NATO ASI Series, Vol.F9, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg [in English].
8. KOPLIK, J. & LEU, M. C. (1986). Computer Generation of Robot Dynamics Equations and the Related Issues. *Journal of Robotic Systems*, 3(3), 301-319 [in English].
9. STEJSKAL, V., & VALÁŠEK, M. (1996). *Kinematics and dynamics of Machinery*. Marcel Dekker. Inc., New York [in English].
10. SHABANA, A. A. (1998). *Dynamics of Multibody Systems* (2nd edition), University Press: Cambridge [in English].
11. SHABANA, A. A. (2001). *Computational Dynamics* (2nd edition), John Wiley & Sons, Inc.: New York [in English].
12. VALÁŠEK, M. (1979). *Automatické sestavování obecných pohybových rovnic v symbolické formě*. Výzkumná zpráva, FS-ČVUT [in Slovak].
13. KONIAR, D., HARGAS, L. & SIMONOVA, A. (2014). *Virtual Instrumentation for Visual Inspection in Mechatronic Applications*. 6th Conference on Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems. Location: Vysoke Tatry [in English].
14. MIKOVÁ, L., KELEMEN, M., & KELEMENOVÁ, T. (2008). Four wheeled inspection robot with differential controlling of wheels. *Acta Mechanica Slovaca*, 12 (3-B), 548-558 [in English].
15. DUCHOŇ, F., HUBINSKÝ, P., HANZEL, J., BABINEC, A., & TÖLGYESSY, M. (2012). Intelligent Vehicles as the Robotic Applications. *Procedia Engineering*, 48 (2012), 105–114. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.492 [in English].
16. Koniar, D., HARGAŠ, L., & ŠTOFAN, S. (2012). Segmentation of Motion Regions for Biomechanical Systems. *Procedia Engineering*, 48, 304–311. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.518 [in English].
17. Turygin, Y., & Bozek, P. (2013). Mechatronic systems maintenance and repair management system. *Transfer of innovations*, 26, 3-5 [in English].

УДК 004.4

Дарина Гронцова

ПОБУДОВА РІВНЯНЬ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ СИСТЕМ

Актуальність теми дослідження. Комп'ютерні моделі формують нову якість процесу пізнання. Із використанням комп'ютерної моделі, властивості досліджуваного об'єкта можуть бути перевірені в різних умовах експлуатації. Експериментуючи з комп'ютерною моделлю, ми дізнаємося про модельований об'єкт. Ми можемо протестувати різні варіанти машин без необхідності створювати та редагувати прототипи.

Постановка проблеми. Розвиток комп'ютерних технологій розширив можливості розв'язання математичних моделей і дозволив поступово автоматизувати розрахунок рівнянь математичної моделі. Необхідно вставити відповідні входи математичної моделі, а також моніторити та оцінювати вихідні результати за допомогою пристрою виведення комп'ютера. Мета полягала в тому, щоб описати математичний апарат, необхідний для математичного моделювання, а потім скопіювати модель для комп'ютерного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При розробці математичної моделі для комп'ютера закони і теорія, які ми використовуємо, завжди дійсні в більш-менш ідеалізованих умовах і оперують фіктивними поняттями, такими як матеріальна точка, ідеальний газ, нематеріальна пружина тощо. Однак з такими спрощеннями ми описуємо реалістичне явище, коли початкові припущення зустрічаються тільки в певній мірі. Щоб результати не відрізнялися від модельованої реальності, слід припустити, що хороша комп'ютерна модель виникає поступово, шляхом її перевірки і модифікації, що є одним з переваг MSC Adams.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Питання побудови реальної моделі маніпулятора. На підставі наведеного вище моделювання можна побудувати реальну модель.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Постановка завдання. Використання MSC Adams для моделювання багатоеlementних систем та перевірки придатності для моделювання маніпуляторів та моделей роботів. У різних варіантах побудованої моделі ми можемо контролювати його поведінку в різних режимах роботи.

Виклад основного матеріалу. В комп'ютерному моделюванні MSC Adams-View використовується для моделювання механічних систем. Вона має інтерактивне середовище для автоматизованого динамічного аналізу параметризованих механічних систем з довільною структурою жорстких та гнучких тіл з геометричними або силовими з'єднаннями, в яких діють гравітаційні, інерційні, експериментально створений контакт, тертя, аеродинамічні, гідродинамічні або електромеханічні сили і мають встроєні контрольні, гідравлічні, пневматичні або електромеханічні ланцюги.

Висновки відповідно до статті. Робота з математичною моделлю на комп'ютері відкриває простір для конкретного синтезу емпіричного та аналітичного методу наукового знання. Робота з комп'ютерною моделлю має характерні риси класичних експериментів. Це представляє якісно новий спосіб вирішення завдань, коли неможливо експериментувати з реальним об'єктом. Результатом є еквівалентність комп'ютерної моделі та досліджуваного об'єкта з вибраними характеристиками та виразами які є необхідні та значимі з точністю, достатньою для конкретної мети.

Ключові слова: багатоеlementні системи; кінематичні пари; матриці перетворення; моделювання програмного забезпечення.

Рис.: 9. Бібл.: 17.

Hroncová Darina – Ing., PhD., Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: darina.hroncova@tuke.sk

Scopus Author ID: 55988359500

UDC 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-82-88

Michal Kelemen

MACHINE MOTION OPTIMIZATION

Urgency of the research. Inspection of pipe systems are needed, because of prevention of damages and disasters. Also repairing and cleaning can be done without any earth works.

Target setting. Pipe machine is suitable to move inside gas pipe, water gas, oil gas, waste water pipes, chemical pipes, steam generator pipes, boiler pipes etc.

Actual scientific researches and issues analysis. Wheeled or tracked machines are currently used for motion inside pipes. Wheeled type tends to slipping when wall is dirty or rudiments are exposed on inner side of pipe wall.

Uninvestigated parts of general matters defining. The question of the design of adaptable pipe machines are uninvestigated, because the next research will be focused to this are.

The research objective. The main aim is to optimize structure of machine for improving the overall properties as motion velocity and traction force. Cary items are bristles, which has any structural and material properties.

The statement of basic materials. Montage angle and initial displacement and also bristle length can be identified for setting the machine. Bristles are placed at angle on machine body in two groups (front and back). Linear actuator is placed between these groups of bristles. Periodical actuator stroke generates forward motion inside pipe.

Conclusions. Phenomenon of friction difference is a key factor for motion of machine inside pipe. Beside of it, a contact phenomenon between bristles and pipe wall is important for analysis in design process of this machine. Real bristles have a limitation of their deflection. In every case, deformation should be in flexible area of loading.

These bristles flexibility is used as device for compensation of pipe wall irregularities during the machine motion inside pipe.

Keywords: machine; optimization; pipe; friction; motion.

Fig.: 8. References: 17.

Introduction. Machine for motion inside pipe has various purpose. It can be used for pipe inspection, also pipe repairing and also there are several application for cables installation into underground pipe.

There are several solution of machines (fig. 1) able to move inside pipe. Several of them uses wheels, tracks, legs, inchworm-style etc. [1-10].

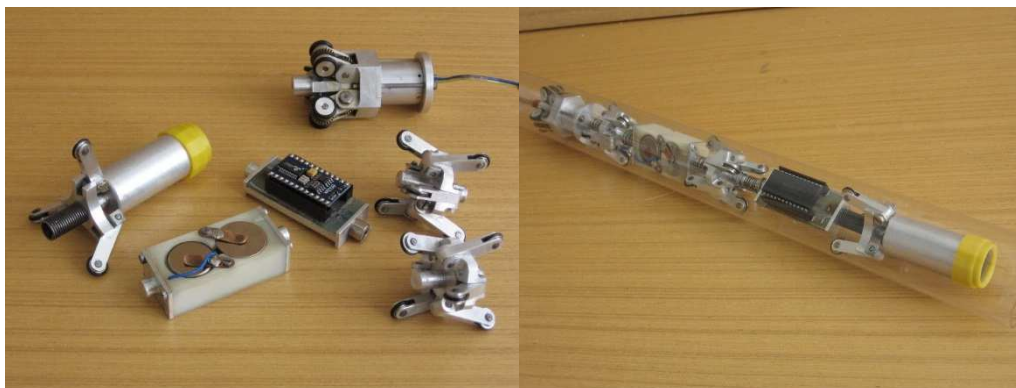


Fig. 1. Wheeled machine for motion inside pipe

Next possible application is machine for motion inside pipe with helical motion of wheels. It has better motion, but still it tends to slipping when wall is dirty (fig. 2).

Described machine (fig. 3) uses thin bristle for contact with pipe wall instead of wheels or tracks. The motion is affected by dirties inside pipe, geometrical deviations and deformation of pipe wall. Bristles are cantilever beams in front and back of machine body. Drive actuator is placed between the front and back bristles. Actuator generates the periodical change of distance between bristle groups. These periodical change of distance are transferred to groups of bristles. It causes that bristles vibrates in both directions (in front and back direction). Bristles are bonded at angle and this way causes the different friction force in front and back directions. This effect is raised with large elastic deformation of bristles. One of the most important key factor is elastic and geometric properties of bristles (length, preloading, angle of slope). These properties is the target of optimization. The deformation should be only elastic, because plastic deformation will decrease the normal friction to wall of pipe.



Fig. 2. Wheeled machine with helical motion inside pipe

Actuator has rectilinear motion output and it is possible to select arbitrary type according the needed output force and stroke. Our solution has been proposed with piezostack actuator and also with linear electromagnetic actuator.

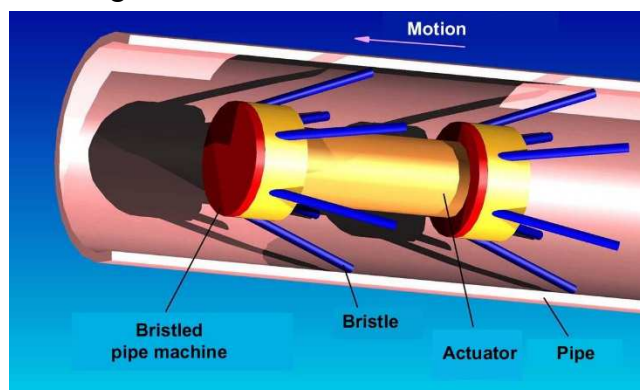


Fig. 3. Solved machine for motion inside pipe with bristles

1. Machine model and optimization of its properties. Analysis and previous experiments shows the large effect of the bristle properties to machine motion. The followed parameters are steady state velocity and traction force of machine. The traction force depends on normal force F_N and friction forces between pipe wall and bristles F_{T1} a F_{T2} and also depends on actuator excitation force F_A . Velocity v of the machine also affect the traction force:

$$F = f(F_N, F_A, F_{T1}, F_{T2}, v). \tag{1}$$

Velocity of machine is analogically as function of normal force F_N , of actuator force F_A , of friction forces F_{T1} and F_{T2} and of traction force F . Also it depends on velocity of actuator stroke v_A :

$$v = g(F_N, F_{T1}, F_{T2}, F, v_A). \tag{2}$$

Equation (1) and equation (2) composes the overall math model of machine from the viewpoint of optimization of motion efficiency. It results from this model, that interaction of bristle and wall of pipe has key impact to machine behaviour. Friction forces have significant role for this studied effects.

The aim of machine optimization is to obtain the maximum of difference between the friction forces for motion to front or back. Previous experiences shows that geometry of bristles directly also influences to this difference. Another point is reaching of insensitivity to pipe geometrical deviations and pipe sediments.

$$F_{T2} - F_{T1} \Rightarrow \max, \tag{3}$$

Optimization can be executed via using of mapping of phase space. The main advantage of this method is that it enables to find all possible solutions in selected interval of input variables values. Input variables for optimization are:

- angle of montage of bristles α_l ,
- span of the free bristles Δ_R ,
- length of bristles L .

2. Optimization of machine. Followed output variables are friction forces. Mapping of this forces has been executed for defined input intervals of them.

Dependence of friction force for motion to front is shown in fig. 4. It is computed for round cross-section of bristle. Friction force raises up when bristle length is decreased. Minimal values of friction forces are still on angle 1.5 rad. Decreasing of bristle length (fig. 5) rapidly influences to normal force and also friction force for movement to front.

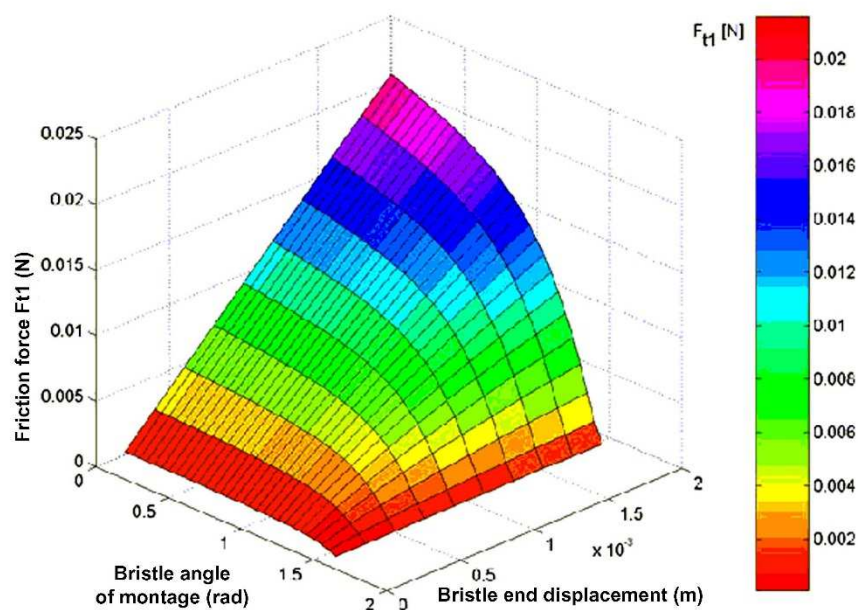


Fig. 4. Friction force for motion to front of machine body

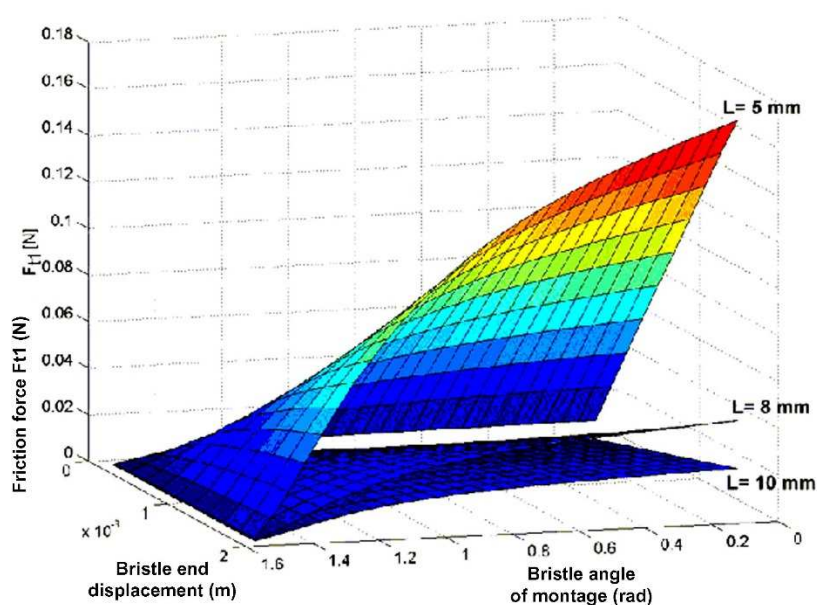


Fig. 5. Friction force for movement to front for various bristle length

Friction force for movement to back has different character (fig. 6). There is area of discontinuity shown as extremely rapid raising up of friction force to positive values and immediately falling down to negative values. In real the friction values for specified values raises to infinity and machine with bristles is blocked against the motion to back direction. If we will smooth the mapping mesh then the values will raises up very fast.

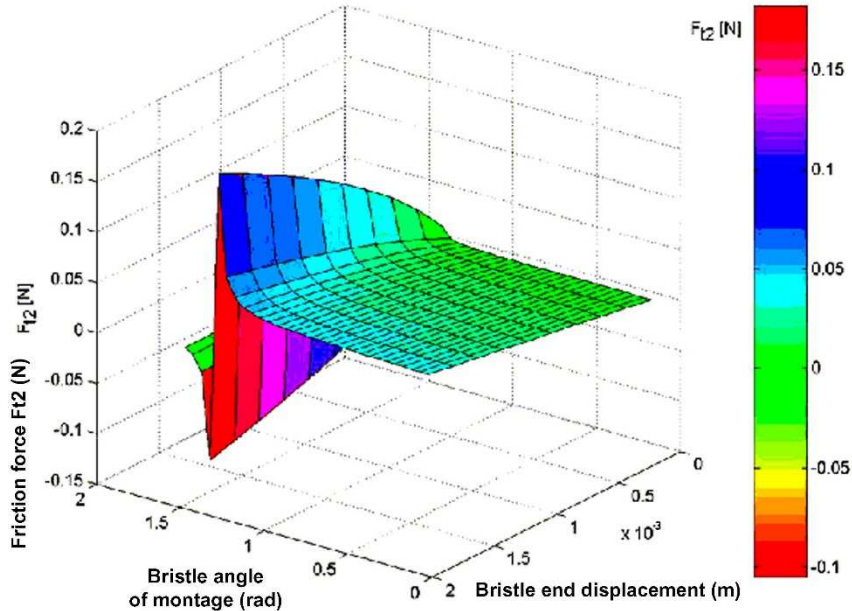


Fig. 6. Dependence of friction force for movement to back

For movement to back, also it is necessary to know influence of bristle length to friction force for this case (fig. 7). For smaller bristle length is situation similar as before. The value of friction force is raised up for decreased length of bristle. Decreasing of bristle length also causes the increasing of normal force and also friction force for this case of movement.

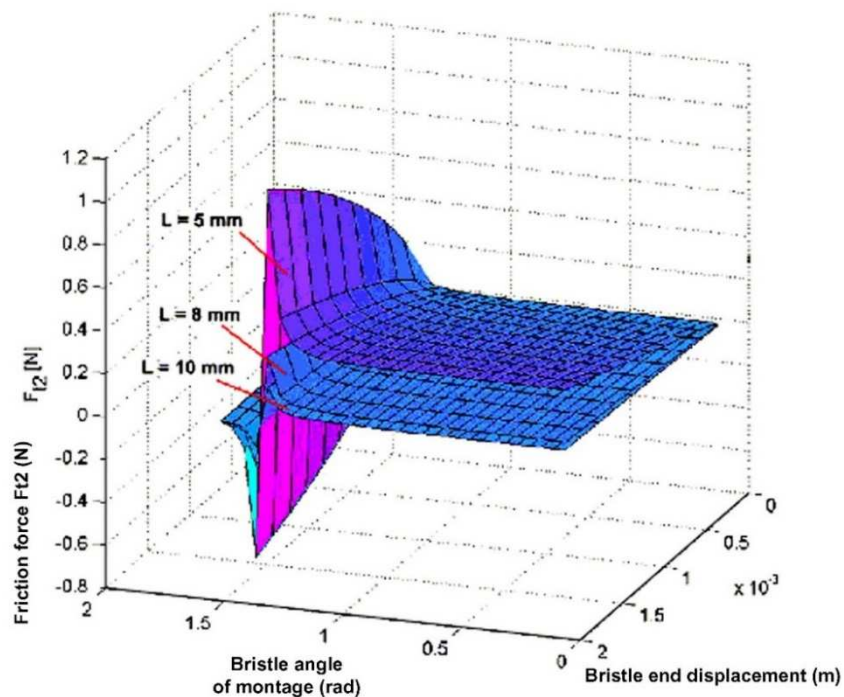


Fig. 7. Friction force for movement to back

Selection of bristle length also should be made in accordance with space possibility inside pipe. Length of bristle directly influenced bristle stiffness and also normal force against the pipe wall. There is an effort to make the bristle more elastic with low stiffness for ability to adapt to the pipe wall irregularities. It is necessary to make any compromise. The flexibility of bristle helps compensate wall deviations and sediments, which can complicate the motion of machine inside pipe. Efficiency of machine motion is also affected by difference between the friction forces for movement to front and back. Montage angle is another factor, which also affects these friction forces.

Figure 8 shows the dependence of friction force difference for movement to front and back on changed montage angle of bristle, radial position of bristle end.

Limit value for montage angle is value where friction force obtain extreme value. Optimal parameters of bristle is in case where is a maximum difference between friction forces.

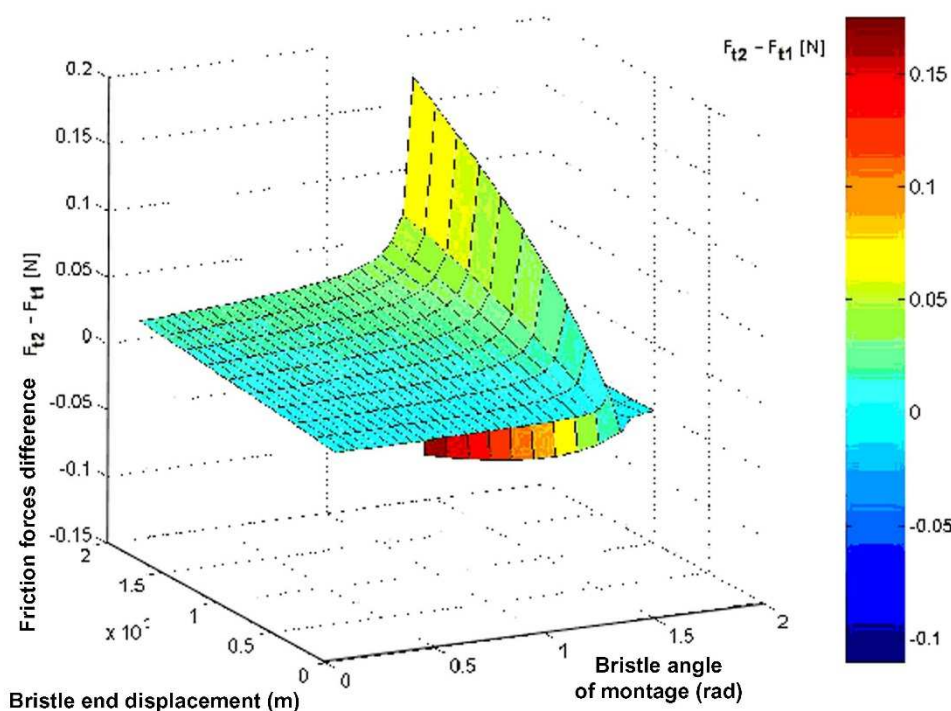


Fig. 8. Difference of friction forces for machine movement

Conclusion. Phenomenon of friction difference is a key factor for motion of machine inside pipe. Beside of it, a contact phenomenon between bristles and pipe wall is important for analysis in design process of this machine. Real bristles have a limitation of their deflection. In every case, deformation should be in flexible area of loading.

These bristles flexibility is used as device for compensation of pipe wall irregularities during the machine motion inside pipe.

The paper shows the typical case for design of mechatronic product, where optimization of mechanical parts are necessary for obtaining of best properties. Only best prepared mechanical design allows to reach optimal synergistic combination of mechanics, electronics and controlling [11-17].

Acknowledgement. The authors would like to thank to Slovak Grant Agency – project KEGA 018TUKE-4/2018, and FGV/2016 supported by Faculty of Mech. Eng. at Technical University of Kosice.

References

1. AOSHIMA, S. et al. (1993). A miniature mobile robot using piezo vibration for mobility in a thin tube. *ASME J. Dynam. Syst., Meas., Contr.*, 115, 270–278.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. IDOGAKI, T. et al. (1995). *Characteristics of piezoelectric locomotive mechanism for an in-pipe micro inspection machine*. Proc. IEEE 6th Int. Symp. Micro Machine and Human Sciences, 193–198.
3. SUN, L., SUN, P., QIN, X., WANG, C. (1998) *Micro Robot in Small Pipe with Electromagnetic Actuator*. Micromechatronics and Human Science, MHS '98. Proceedings of the 1998 International Symposium on, 243-248.
4. MATSUMOTO, T. et al. (1994). *A prototype model of micro mobile machine with piezoelectric driving force actuator*. Proc. IEEE 5th Int. Symp. Micro Machine and Human Sciences, 47–54.
5. FUKUDA, T., HOSOKAI, H., & UEMURA, M. (1989) *Rubber gas actuator driven by hydrogen storage alloy for in-pipe inspection mobile robot with flexible structure*. Proc. IEEE Int. Conf. Robotics, Automation, 3, 1847–1852.
6. IWASHITA, S., HAYASHI, I., IWATSUKI, N., & K. NAKAMURA. (1994). *Development of in-pipe operation micro robots*. Proc. IEEE 5th Int. Symp. Micro Machine and Human Sciences, 41–45.
7. DEGANI A., FENG S., CHOSET H., and MASON M. T. (2010). *Minimalistic, Dynamic, Tube Climbing Robot*. Proc. of 2010 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation Anchorage Convention District, May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA, 1100-1101.
8. GMITERKO, A., DOVICA, M. (1997). *Dependence of the Body Sensitivity Function on Geometrical Size for the Mechatronic System*. International Conference Mechatronics and Robotics' 97. 29.9.-2. 10. 1997, Brno, Czech Republic, 27-30.
9. GMITERKO, A., KELEMEN, M., DOVICA, M., CAPÁK, M. (1999). *Miniature mobile robot for moving in a tube with small diameter*. Proceedings of the 2nd International Conference Mechatronics and Robotics '99, Brno, Czech Rep., 1999, 67-70, ISBN 80-214-0604-6.
10. KELEMEN, M., GMITERKO, A., GÓTS, I. (2001). *Mechatronic concept of bristled in-pipe machine*. *ATP Plus*. 2001, 48-52
11. VITKO, A., JURÍŠICA, L., BABINEC, A., DUCHOŇ, F., KLÚČIK, M. (2010). *Some Didactic Problems of Teaching Robotics*. Proceedings of the 1st International Conference Robotics in Education 2010. Bratislava, 16.-17. 9. 2010, Bratislava, Slovak University of Technology in Bratislava, ISBN 978-80-227-3353-3, 27-30.
12. KONIAR, D., HARGAS, L., SIMONOVA, A. et al. (2014). *Virtual Instrumentation for Visual Inspection in Mechatronic Applications*. 6th Conference on Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems (MMaMS) Location: Vysoke Tatry, SLOVAKIA Date: NOV 25-27, 227-234.
13. DUCHOŇ, F., HUBINSKÝ, P., HANZEL, J., BABINEC, A., & TÖLGYESSY, M. (2012). *Intelligent Vehicles as the Robotic Applications*. *Procedia Engineering*, 48 (2012), 105–114. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.492.
14. KONIAR, D., HARGAŠ, L., & ŠTOFAN, S. (2012). *Segmentation of Motion Regions for Bio-mechanical Systems*. *Procedia Engineering*, 48 (2012), 304–311. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.518.
15. TURYGIN, Y., & BOŽEK, P. (2013). *Mechatronic systems maintenance and repair management system*. *Transfer of innovations*, 26 (2013). 3-5.
16. SPANIKOVA, G., SPANIK, P., FRIVALDSKY, M. et al. (2017). *Electric model of liver tissue for investigation of electrosurgical impacts*. *Electrical Engineering*, 99 (4), 1185-1194. doi.org/10.1007/s00202-017-0625-0
17. KARAVAEV, Y. L., & KILIN, A. A. (2016). *Nonholonomic dynamics and control of a spherical robot with an internal omniwheel platform: Theory and experiments*. Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics, 295 (1), 1 November 2016, 158-167.

УДК 004.4

Міхал Келемен

ОПТИМІЗАЦІЯ РУХУ МЕХАНІЗМУ

Актуальність теми дослідження. Перевірка трубних систем необхідна для запобігання ушкоджень та аварій. Також їх ремонт і очищення можуть виконуватися без будь-яких земляних робіт.

Постановка проблеми. Трубні механізми придатні для переміщення всередині газопроводу, водопроводу, нафтопроводу, трубопроводів для стічних вод, трубопроводів для транспортування хімічних продуктів, парогенераторів, труб котлів тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині для руху всередині труб використовуються колісні або гусеничні механізми. Коли стіна труби забруднена або на внутрішній стороні стіни труби наявні намули, колісний тип механізму схильний до проковзування.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Питання проектування конструкції адаптивних трубних механізмів залишається невивченим, тому наступне дослідження буде сфокусовано на цьому.

Постановка завдання. Основна мета – оптимізувати структуру механізму для поліпшення загальних властивостей як швидкості руху, так і сили тяги. Пересувні блоки являють собою щетинки, які мають різні структурні та матеріальні властивості.

Виклад основного матеріалу. Для установки механізму можуть бути визначені монтажний кут і початкове відхилення, а також довжина щетинки. Щетинки розміщуються під кутом на корпусі механізму в дві групи (спереду і ззаду). Лінійний привід розміщується між цими групами щетинок. Періодичний хід виконавчого механізму створює поступальний рух усередині труби.

Висновки відповідно до статті. Феномен різниці тертя є ключовим фактором для руху механізму всередині труби. Крім того, для аналізу в процесі проектування цього механізму важливим є явище контакту між щетинками і стінкою труби. Реальні щетинки мають обмеження в їх вигині. У кожному випадку деформація повинна бути в гнучкій області навантаження.

Гнучкість щетинок використовується як засіб для компенсації нерівностей стінки труби під час руху механізму всередині труби.

Ключові слова: механізм; оптимізація; труба; тертя; рух.

Рис.: 8. Бібл.: 17.

Kelemen Michal – Prof. Ing., PhD., Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovakia).

E-mail: michal.kelemen@tuke.sk

Researcher ID: J-2845-2013

Scopus Author ID: 8396804800

Ivan Virgala, Filip Filakovský

ALGORITHM OF EULER-LAGRANGE METHOD FOR DESIGNING OF DYNAMIC MODEL

Urgency of the research. Nowadays robotics and mechatronics come to be mainstream. With development in these areas also grow computing fastidiousness. Since there is significant focus on numerical modeling and algorithmization in kinematic and dynamic modeling.

Target setting. By automation of whole process of dynamic model design the errors are eliminated as well as the time of designing significantly decreases.

Actual scientific researches and issues analysis. Designing of dynamic model by analytical way is very difficult especially in the cases considering high number of DOF. For hyper-redundant manipulators it is practically impossible. From this reason whole process is automatized.

Uninvestigated parts of general matters defining. The theory of Euler – Lagrange method is automatized by means of robotic view on this issue.

The research objective. In the paper, an algorithm for design of dynamic model was introduced.

The statement of basic materials. The paper deals with automatic design process of dynamic model for serial kinematic structure mechanisms. In the paper Euler – Lagrange formula is discussed. Analytical way of dynamic modeling should be difficult problem especially for mechanisms with high number of degrees of freedom. From this reason the paper shows the way of automatically designing of dynamic modeling in MATLAB. Our study shows dependence of computing time on increasing DOF. The relation is expressed by function of 3rd order. Subsequently the paper presents automatically generated inverse dynamic model in cooperation with inverse kinematic model as well as trajectory planning task.

Conclusions. The paper introduces automatically generated dynamic model for mechanisms with serial kinematic structure. The paper also established the time for designing of dynamic model for several mechanisms with changing DOF.

Keywords: dynamic model; Euler–Lagrange; kinematically redundant mechanism.

Fig.: 7. References: 7.

Introduction. In general, dynamic model describes the relationship between force (torques) and motion of investigated mechanism. Mathematical – dynamic model – is important part of designing of mechanisms and robots in order to its motion simulations, optimization as well as control algorithm design [1]. Many prior works have been done in the research field of dynamic modeling [2]-[4]. A researchers working in the area of robotics are also focused on the computational efficiency of robot control systems [5][6]. For robot dynamic description two main methods are usually used, namely Newton – Euler method and Euler – Lagrange method [7]. This paper deals with the second of them. The aim of the paper is to implement theory of Euler – Lagrange method in computing algorithm for simplification of dynamic model designing especially for mechanisms with high number of DOF.

The paper is divided as follows. The 2nd chapter deals with Euler – Lagrange method. The 3rd chapter presents the algorithm for dynamic model design. This process is numerically simulated for nine mechanisms with different DOF. Next, the relation between computing time of simulation and increasing number of DOF is presented. Subsequently, following chapter shows the example of automatically designed dynamic model on planar mechanism with 6 DOF.

Dynamic model – Euler – Lagrange Method. In consideration of dynamic model there are two basic problems, namely forward and inverse model. The forward dynamic model computes the joint accelerations and others kinematic variables like velocity and position, while generalized forces (torques) are given. The inverse dynamic model computes of forces (torques), while kinematic variables (acceleration, velocity, position) are known.

Both methods, Newton – Euler as well as Euler - Lagrange have different base. Nevertheless, both methods result in the same generalized dynamic equation

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{D}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau}, \quad (1)$$

where \mathbf{M} is matrix of inertia $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{n \times n}$, \mathbf{C} is matrix of Coriolis and centrifugal forces $\mathbf{C} \in \mathbb{R}^{n \times n}$, \mathbf{D} is diagonal matrix considering friction $\mathbf{D} \in \mathbb{R}^{n \times n}$, \mathbf{g} is vector of gravity forces $\mathbf{g} \in \mathbb{R}^n$, $\boldsymbol{\tau}$ is vector of torques $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^n$ and $\mathbf{q} \in \mathbb{R}^n$ is vector of generalized variables. Parameter n represents number of DOF of investigated mechanism.

In the following section introduces the theory of Euler – Lagrange method. As have been mentioned above, the method arises from kinetic and potential energy what by equation (2) is expressed

$$\psi_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (2)$$

where ψ_i represents extern and dissipative generalized forces. The function $L(q, \dot{q}) = K(q, \dot{q}) - P(q)$ represents Lagrange function. The equation (2) is

$$\psi_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial K}{\partial q_i} + \frac{\partial P}{\partial q_i} \quad (3)$$

The final kinetic and potential energy of investigated mechanism is expressed by sum of kinetic and potential energy of all mechanism links

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \quad (4)$$

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

Kinetic energy of i -th link can be expressed as follows

$$K_i = \frac{1}{2} m_i \mathbf{v}_{ci}^T \mathbf{v}_{ci} + \frac{1}{2} \omega_i^T \mathbf{R}_i \mathbf{I}_i \mathbf{R}_i^T \omega_i \quad (6)$$

$$K_i = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^T \sum_{i=1}^n \left[m_i \mathbf{J}_v^i(\mathbf{q}) \mathbf{J}_v^i(\mathbf{q}) + \mathbf{J}_\omega^i(\mathbf{q}) \mathbf{R}_i \mathbf{I}_i \mathbf{R}_i^T \mathbf{J}_\omega^i(\mathbf{q}) \right] \dot{\mathbf{q}} \quad (7)$$

$$K_i = \frac{1}{2} m_i \mathbf{v}_{ci}^T \mathbf{v}_{ci} + \frac{1}{2} \omega_i^T \mathbf{R}_i \mathbf{I}_i \mathbf{R}_i^T \omega_i \quad (8)$$

$$K_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}(\mathbf{q}) \dot{q}_i \dot{q}_j \quad (9)$$

where \mathbf{R}_i is rotational matrix between fixed frame of mechanism and i -th link, \mathbf{I}_i is matrix of moments of inertia, \mathbf{J}_v^i and \mathbf{J}_ω^i are Jacobians for linear and revolute velocity.

Potential energy of i -th link can be expressed as follows

$$P_i = \int_{L_i} \mathbf{g}^T \mathbf{p} dm = \mathbf{g}^T \int_{L_i} \mathbf{p} dm = \mathbf{g}^T \mathbf{p}_{ci} m_i \quad (10)$$

where $\mathbf{g} = [0 \quad -9.81 \quad 0]^T$. Total potential energy is now

$$P = \sum_{i=1}^n \mathbf{g}^T \mathbf{p}_{ci} m_i \quad (11)$$

Lagrange function is then

$$L = K - P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}(\mathbf{q}) \dot{q}_i \dot{q}_j - \sum_{i=1}^n \mathbf{g}^T \mathbf{p}_{ci} m_i \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} = \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_k} = \sum_{j=1}^n M_{kj} \dot{q}_j \quad (13)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} = \sum_{j=1}^n M_{kj} \ddot{q}_j + \sum_{j=1}^n \frac{dM_{kj}}{dt} \dot{q}_j = \sum_{j=1}^n M_{kj} \ddot{q}_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial M_{kj}}{\partial q_i} \dot{q}_i \dot{q}_j \quad (14)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_k} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial M_{ij}}{\partial q_k} \dot{q}_i \dot{q}_j - \frac{\partial P}{\partial q_k} \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n M_{kj} \ddot{q}_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\frac{\partial M_{kj}}{\partial q_i} - \frac{1}{2} \frac{\partial M_{ij}}{\partial q_k} \right] \dot{q}_i \dot{q}_j + \frac{\partial P}{\partial q_k} = \psi_k \quad (16)$$

By following substitution

$$h_{kji}(\mathbf{q}) = \frac{\partial M_{kj}(\mathbf{q})}{\partial q_i} - \frac{1}{2} \frac{\partial M_{ij}(\mathbf{q})}{\partial q_k} \quad (17)$$

$$g_k(\mathbf{q}) = \frac{\partial P(\mathbf{q})}{\partial q_k} \quad (18)$$

one obtains

$$\sum_{j=1}^n M_{kj}(\mathbf{q}) \ddot{q}_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_{kji}(\mathbf{q}) \dot{q}_i \dot{q}_j + g_k(\mathbf{q}) = \psi_k \quad (19)$$

Equation (19) can be now written in the form

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{D} \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau} \quad (20)$$

where matrix \mathbf{C} can be expressed as

$$C_{kj} = \sum_{i=1}^n c_{ijk} \dot{q}_i \quad (21)$$

$$c_{ijk} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial M_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial M_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial M_{ij}}{\partial q_k} \right] \quad (22)$$

The parameters in the equation (22) are so called Christoffel symbols.

Algorithm of Automatic Designing of Dynamic model. The increasing number of DOF significantly increases the fastidiousness of dynamic model designing by analytical way. With consideration of kinematically redundant mechanism the inclination to the dynamic model designing failure is too high. Therefore it is desirable to design system for automatic designing of dynamic model. The contribution of this paper is to introduce the algorithm which simplify dynamic model designing.

Introduced algorithm considers the mechanisms with serial kinematic structure so called open chain mechanism. It could be used for planar as well as three-dimensional mechanism.

Algorithm: Design of Dynamic Model

- 1: Definition of basic parameters of links like weight m , length L , number of links N . Definition of kind of friction and friction coefficients in the joints, definition of rotational matrices \mathbf{R}_i
- 2: Computation of COG (center of gravity) positions for particular links from the fixed base
- 3: Computation of Jacobians for linear \mathbf{J}_v^i and revolute \mathbf{J}_ω^i motions
- 4: Computation of potential energy for particular links
- 5: Computation of vector of gravity forces by relations $\mathbf{P} = \sum_{i=1}^n \mathbf{g}^T \mathbf{p}_{ci} \mathbf{m}_i$ and $\frac{\partial P(\mathbf{q})}{\partial q_k}$
- 6: Computation of inertia matrix by relation $\sum_{i=1}^n [\mathbf{m}_i \mathbf{J}_v^i T(\mathbf{q}) \mathbf{J}_v^i(\mathbf{q}) + \mathbf{J}_\omega^i T(\mathbf{q}) \mathbf{R}_i \mathbf{I}_i \mathbf{R}_i^T \mathbf{J}_\omega^i(\mathbf{q})]$
- 7: Computation of matrix of Coriolis and centrifugal forces by cycles FOR

FOR $k=1$ TO N

8: FOR $j=1$ TO N

9: FOR $i=1$ TO N

10: $c_{ijk} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial M_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial M_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial M_{ij}}{\partial q_k} \right]$

11: END FOR

12: $\mathbf{C}_{kj} = \sum_{i=1}^n c_{ijk} \dot{q}_i$

13: \mathbf{c}_{ijk}

14: END FOR

15: END FOR

When basic parameters are defined in the step 1, the output of this point is the matrix of inertia $\mathbf{M}(\mathbf{q})$, matrix of Coriolis and centrifugal forces $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ and vector of gravity forces $\mathbf{g}(\mathbf{q})$. Matrix of friction forces if manually given by user according to kind of friction in the joints. The advantage of the algorithm is generalization and therefore doesn't how many links mechanism has. User only sets the number of links.

Mentioned algorithm will be now tested for mechanisms with different number of DOF. This section shows how the fastidiousness of dynamic model designing increases with increasing number of DOF. The simulation is focused on computing time of designing of dynamic model in dependence on increasing number of mechanism DOF.

The parameters of testing PC is Intel Core i3-4000M CPU 2.40 GHz, RAM 4,00 GB, OS: Windows 7 x64. The algorithm has been run in software MATLAB 2013a. Considering each DOF for mechanism, the simulation has been performed 10 times for each DOF. Final computing time was stated as average value of all 10 simulations for each DOF. The results of all simulations for all investigated mechanisms in the Figure 1 are shown.

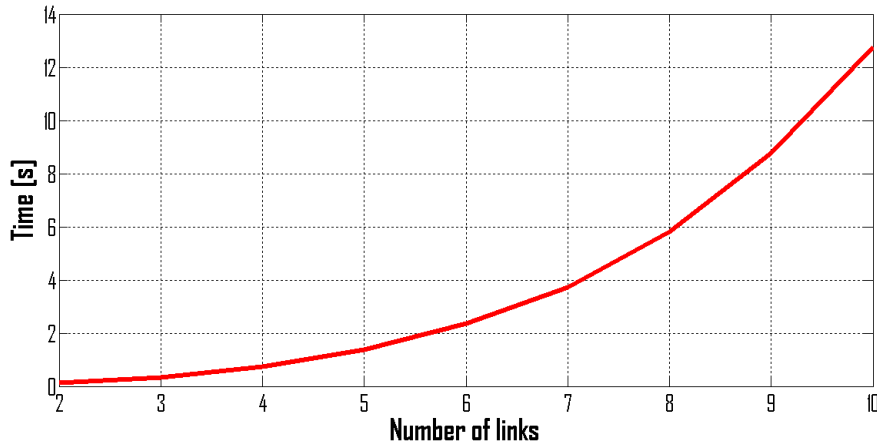


Fig. 1. Increasing computing time for dynamic model design in dependence on increasing DOF of mechanism

The function of increasing time in dependence on increasing DOF of mechanism can be also expressed by polynomial function of 3rd order

$$y = 0,0191x^3 - 0,1025x^2 + 0,3757x - 0,3647. \tag{23}$$

Let's now consider kinematically hyper-redundant mechanism what can be for example continuum robot. Considering the equation (23) as well as the same PC parameters, the computing time for mechanism with 30 links 434,3563 s and for mechanism with 100 links 18112,206 s. It has to be also noticed the impossibility of human designing of dynamic model for mentioned mechanisms.

Example of algorithm utilization for inverse dynamics.

This section deals with study case of dynamic model designing by introduced algorithm with consideration of inverse kinematic model and trajectory planning path of kinematically redundant mechanism. Within this study will be investigated planar mechanism.

The aim of following task is finding generalized forces (torques) in order to move end-effector from its start position to the goal position. Input to the system is point $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^m$. Point \mathbf{P} are the points of required end-effector position at the end of the motion.

At first, we need to use inverse kinematic model for computation of final positions of mechanism joints $\mathbf{q} \in \mathbb{R}^n$. Next, the trajectory has to be planned for particular links. For this operation will be used polynomial of 5th order. Polynomial of 3rd order withholds opportunity to set initial and goal conditions for acceleration / deceleration of particular links during its motion.

The output of trajectory planning task is matrix of angular positions $\mathbf{Q} \in \mathbb{R}^{t \times n}$, matrix of angular velocities $\dot{\mathbf{Q}} \in \mathbb{R}^{t \times n}$ and matrix of angular accelerations $\ddot{\mathbf{Q}} \in \mathbb{R}^{t \times n}$. Parameter t is number of points which are placed between initial and goal position of end-effector. The output this task is the input to the inverse dynamic model block, see Figure 2. The output of inverse dynamic model block are torques $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^n$ in the vector form.

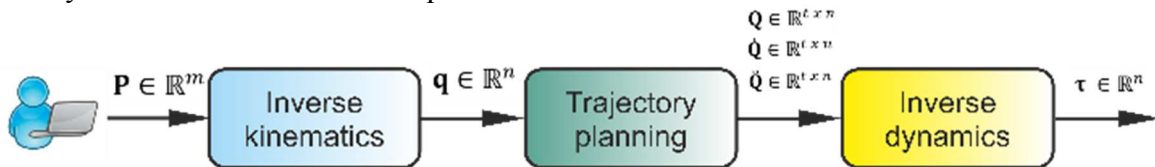


Fig. 2. Flow of task

The Figure 3 shows start and goal configuration of links of investigated mechanism with 6 DOF. Initial angle for all joints is 0^0 . The goal position of end-effector is point [1, 2]. Length of all links is $L = 1$ m.

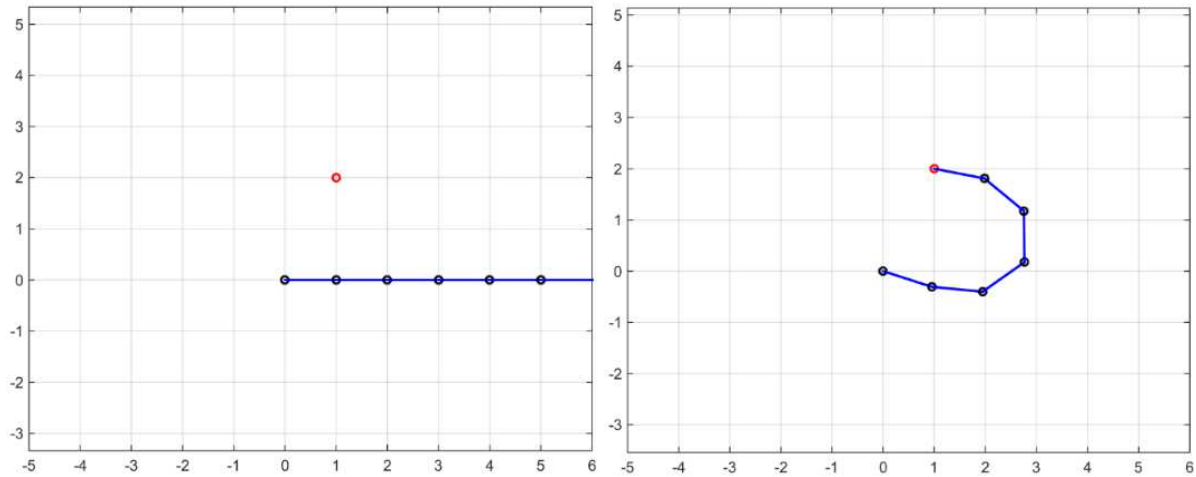


Fig. 3. Start and goal links configuration of mechanism

Damped least squares method is used for inverse kinematic model computation. The result of inverse kinematic model is vector of generalized variables \mathbf{q} . The Figure 4, Figure 5 and Figure 6 show the result of trajectory planning block. AS have been mentioned, the trajectory planner used polynomial function of 5th order.

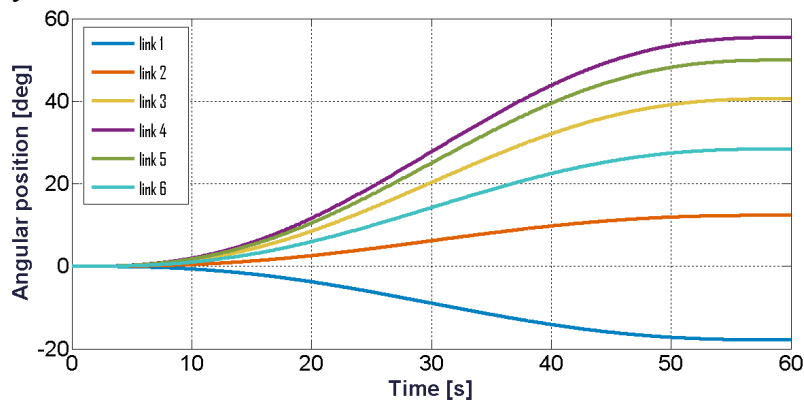


Fig. 4. Trajectory planning - Angular positions

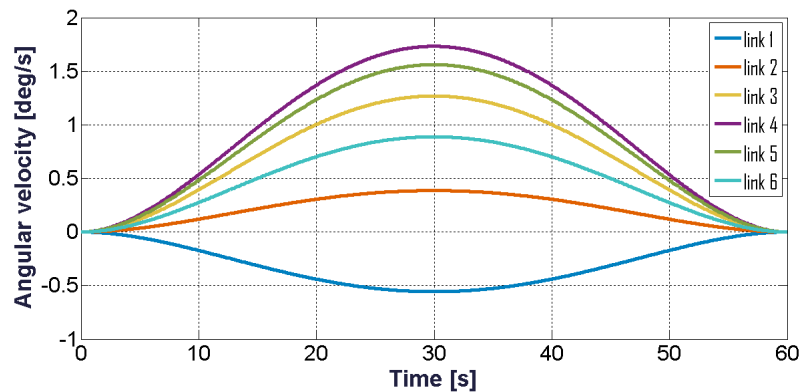


Fig. 5. Trajectory planning - Angular velocities

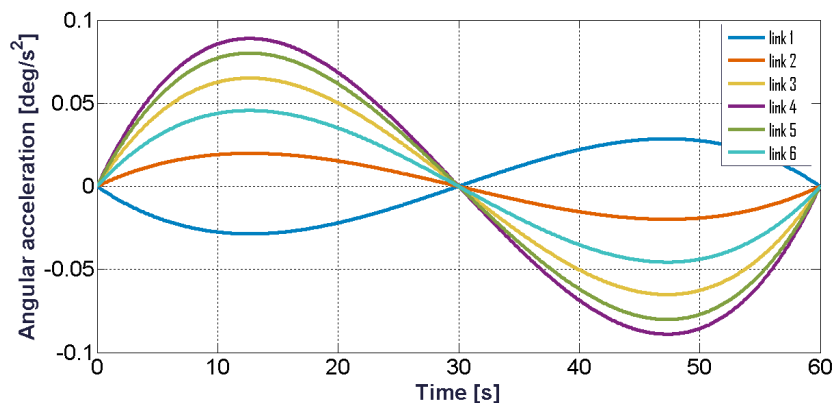


Fig. 6. Trajectory planning - Angular accelerations

As can be seen from the Figures 4, 5 and 6, the simulation assumed zero initial and goal conditions. According to Fig. 2, the output is inverse dynamics what is in our case vector of required torques, see Figure 7.

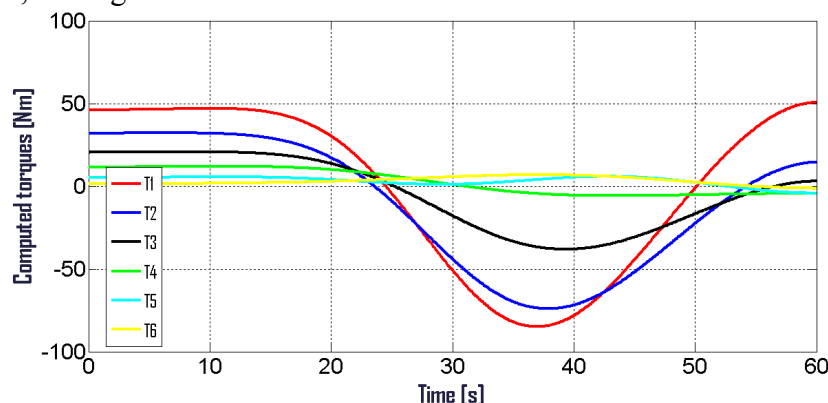


Fig. 7. Result of the simulation - Required torques

The simulation lasts 60 s. Of course, the lower time of the simulation would be, the higher torques would be required in order to achievement of required vector of generalized variables and its derivations.

Conclusion. The paper dealt with one of two basic approaches for dynamic model designing Euler – Lagrange method. The algorithm for automatic designing of dynamic model is developed and numerically tested. The algorithm is programmed in MATLAB and tested on planar mechanisms with six degrees of freedom. Also the paper states the dependence of increasing computing time on increasing DOF of mechanism. The contribution of the paper in the form of computational algorithm is tool for engineering research. Designed dynamic model by this algorithm can be then used for optimization and control task.

Acknowledgement. The author would like to thank to Slovak Grant Agency – project VEGA 1/0389/18.

References

1. Spong, M. W., Hutchinson, S. & Vidyasagar, M., (2006). *Robot Modeling and Control*, ISBN: 978-0-471-64990-8. JOHN WILEY & SONS, INC [in English].
2. Featherstone, R. (1983). The Calculation of Robot Dynamics using Articulated-Body Inertias. *International Journal of Robotics Research*, 1(2), 13–30 [in English].
3. J. Y. S. Luh, M. W. Walker and R. P. C. Paul (1980). On-Line Computational Scheme for Mechanical Manipulators. (J. ASME, Trans.). *Dynamic Systems, Measurement & Control*, 2(102), 69–76 [in English].
4. Walker, M. W. & Orin, D. E. (1982). Efficient Dynamic Computer Simulation of Robotic Mechanisms. (J. ASME, Trans.). *Dynamic Systems, Measurement & Control*, (104), 205-211 [in English].
5. Featherstone, R. & Orin, D. (2000). Robot Dynamics: Equations and Algorithms. Proceedings from: *IEEE International Conference on Robotics & Automation* (pp. 826 – 834) [in English].

6. Sciavicco, L. & Siciliano, B. (2000). *Modelling and control of robot manipulators*. Springer Verlag [in English].

7. Asada, H. H., (2005). *Introduction to Robotics*. Massachusetts Institute of Technology [in English].

УДК 519.168:004.94

Іван Віргала, Філіп Філаковські

АЛГОРИТМ ЕЙЛЕРА-ЛАГРАНЖА ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ

Актуальність теми дослідження. В наші дні робототехніка і мехатроніка стають мейнстримом. З розвитком цих галузей також зростають вимоги до обчислювальної техніки, оскільки основна увага приділяється чисельному моделюванню й алгоритмізації в кінематичному та динамічному моделюванні.

Постановка проблеми. При автоматизації всього процесу проектування динамічної моделі усуваються помилки, а час проектування значно зменшується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проектування динамічної моделі аналітичним способом дуже складний процес, особливо у випадках урахування глибини зображуваного простору. Для гіпернадлишкових маніпуляторів це практично неможливо. З цієї причини весь процес автоматизований.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Теорія методу Ейлера-Лагранжа автоматизована за допомогою роботизованого погляду на це питання.

Постановка завдання. У статті був запропонований алгоритм проектування динамічної моделі.

Виклад основного матеріалу. У статті розглядається процес автоматизованого проектування динамічної моделі механізмів з послідовною кінематичною структурою. У статті обговорюється формула Ейлера - Лагранжа. Аналітичний спосіб динамічного моделювання завжди є складною проблемою, особливо для механізмів з великою кількістю ступенів свободи. З цієї причини в статті показаний спосіб автоматизованого проектування динамічної моделі в MATLAB. Наше дослідження показує залежність часу обчислень від збільшення ступеня свободи. Залежність є функцією 3-го порядку. Насамкінець в роботі представлена автоматично створена зворотна динамічна модель в комплексі зі зворотною кінематичною моделлю, а також завдання планування траєкторії.

Висновки відповідно до статті. У статті наведена автоматизовано створена динамічна модель для механізмів із послідовною кінематичною структурою. У роботі також було визначено час для розробки динамічної моделі для декількох механізмів зі змінним числом ступенів волі.

Ключові слова: динамічна модель; Ейлер-Лагранж; кінематично-надлишковий механізм.

Рис.: 7. Бібл.: 7.

Ivan Virgala – assoc. professor, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automation, Mechatronics and Robotics, Department of Mechatronics (Park Komenského 8, 042 00 Košice).

Filip Filakovský – PhD student, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automation, Mechatronics and Robotics, Department of Mechatronics (Park Komenského 8, 042 00 Košice).

УДК 311+512

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-96-104

Олександр Дубягін

МОДЕЛЬ МІЖРІВНЕВОГО БАЛАНСУ: АГРЕГАТНА ФОРМА

Актуальність теми дослідження. Синтезування моделі міжрівневого балансу в агрегатній формі є актуальним науковим завданням кількісної оцінки керованої зміни структури об'єкта.

Постановка проблеми. Модель, синтезована лише у значеннях чисельності міжрівневих пересувань одиниць об'єкта, не дає уявлення про наслідки керуючого впливу щодо ознаки, вимірюваної в цих одиницях у шкалі відношень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для простої балансової моделі автором вже запропонована система неагрегованих показників міжрівневого балансу та сформульовані їх взаємозв'язки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Це – агрегатна форма моделі міжрівневого балансу.

Постановка завдання. Синтезувати модель міжрівневого балансу, складові якої виражені у значеннях вимірюваної ознаки й чисельності міжрівневих пересувань одиниць об'єкта.

Виклад основного матеріалу. Агрегатна форма моделі ґрунтується на таких складових балансу, як рівневі (позарівневі) втрати та рівневі (позарівневі) поповнення об'єкта щодо ознаки, вимірюваної в його одиницях у шкалі відношень на певному рівні (поза рівня) у станах «після» і «до» зовнішнього впливу. Ці складові визначають рівневу структуру об'єкта та структуру руху його одиниць і пояснюють наслідки керуючого впливу на різних рівнях їх систематизації в моделі. Узагальнене співвідношення балансу, яке формалізує в агрегатній формі результат впливу, характеризує загальні втрати або поповнення об'єкта.

Висновки відповідно до статті. Агрегатна форма моделі міжрівневого балансу дозволяє сформувати систему відповідних показників і оцінити ефективність керуючого впливу на структурований об'єкт.

Ключові слова: агрегатна форма; балансова модель; втрати; міжрівневий рух; оборот; поповнення.

Табл.: 2. Рис.: 2. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Синтезування моделі міжрівневого балансу в агрегатній формі є актуальним науковим завданням щодо кількісної оцінки керованої зміни структури об'єкта.

Постановка проблеми. Балансова модель, синтезована лише за вихідними даними про чисельність одиниць об'єкта, які представляють останній на тому чи іншому рівні ознаки, вимірюваної в цих одиницях у шкалі відношень [1] у станах об'єкта «до» і «після» керуючого впливу, не дозволяє повною мірою уявити наслідки цього впливу: порівняння загальної чисельності одиниць з альтернативних категорій пересування за напрямом не дає відповіді на те, в який бік змінюється узагальнена оцінка рівневого стану об'єкта. Прийнятними на роль такої оцінки є абсолютні сумарні або осереднені показники рівня ознаки [2]. Це – загальний і середній її рівень, визначений у кожному стані об'єкта. Порівнюючи той чи інший узагальнюючий показник, обчислений в обох станах, можна відповісти, чи покращується, чи погіршується оцінка рівневої структури об'єкта при його переході зі стану «до» у стан «після» і якою мірою. Говорячи про всебічну оцінку наслідків впливу, маємо створити систему агрегованих показників міжрівневого балансу (руху). Саме для цього модель синтезуємо в агрегатній формі [3]. Така модель має прикладне значення в будь-якій галузі знань під час аналізу структурних зрушень керованого об'єкта з однорідною структурою щодо ознаки, вимірюваної в натуральних (грошових, трудових) одиницях [4-8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Про оцінку структурних зрушень об'єкта, що пояснюються міжрівневим рухом його одиниць, однак виконану лише у значеннях чисельності останніх, представлених як рухомі та нерухомі, докладно розповідалося в роботі [9], де в основу аналізу була покладена система неагрегованих показників міжрівневого руху [9, с. 41-136]. Балансова модель, представлена в агрегатній формі, є новим поняттям в запропонованій автором методиці. Її аналогом є модель міжгалузевого балансу [10, с. 8-18].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Це – агрегатна форма моделі міжрівневого балансу.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Постановка завдання (мета статті). Синтезувати модель міжрівневого балансу, складові якої виражені у значеннях вимірюваної ознаки і чисельності міжрівневих пересувань одиниць об'єкта та визначають рівневу структуру об'єкта та структуру руху його одиниць.

Виклад основного матеріалу. Центральним елементом методики синтезу моделі міжрівневого балансу є балансово-розрахункова матриця (рис. 1), в I квадранті якої розміщуються вихідні дані балансу про чисельність міжрівневих пересувань (n_{ij}), в II і в III квадрантах – результати обчислення чисельності одиниць об'єкта, що представляють його рівневу структуру (N_{i0} і N_{j1}) та структуру руху його одиниць (N_{Bi} , N_{Bv} , N_{Bn} , N_{Hi} і N_{Pi} , N_{Pnj} , N_{Pvj} , N_{zj} ; N_B , N_{Bv} , N_{Bn} , N_H і N_P , N_{Pn} , N_{Pv} , N_z) у станах «до» та «після» відповідно, в IV квадранті «Баланс» – результат порівняння загальної чисельності одиниць об'єкта, представлених в альтернативних категоріях руху ($N_B \equiv N_P$; $N_{Bv} \equiv N_{Pn}$; $N_{Bn} \equiv N_{Pv}$ (умови збалансованості пересування); $N_H \equiv N_z$ (умова збалансованості нерухомості)), який повинен давати нульове значення кожної різниці [9, с. 24-41]. Така модель дає змогу встановити такі закономірні зв'язки: співвідношенням балансу [9, с. 32] – складових рівневої структури об'єкта та рівневої структури руху його одиниць в кожному зі станів «до» і «після» (на рис. 1 не позначені); узагальненим співвідношенням балансу [9, с. 96] – загальної чисельності одиниць об'єкта (N) та чисельності міжрівневих пересувань, що мають місце за умови стійкості об'єкта ($N = \sum_{i=1}^k N_{i0} = \sum_{j=1}^k N_{j1}$) [9, с. 29].

Формування балансової моделі в агрегатній формі здійснюється перетворенням зазначених неагрегованих складових балансу в агреговані, визначені через значення ознаки, вимірюваної в одиниць об'єкта на відповідному рівні. Через те, що чисельність n_{ij} одиниць об'єкта може бути представлена в добутку (в агрегаті) разом з одним із двох значень ознаки, вимірюваним або у стані «до» (l_i), або у стані «після» (l_j), то додавання цих добутків-агрегатів, розташованих відповідно в рядку або у стовпці I-го квадранта матриці, дає по два різних результати в кожній категорії пересування (одиниць об'єкта): один – це зведений агрегат, що представляє спільне значення ознаки, вимірюване у відповідних одиниць об'єкта на тому ж самому опорному рівні i у стані «до» (в рядку) або опорному рівні j у стані «після» (у стовпці), інакше – вимірюване в рівневих значеннях ознаки (рис. 1, а); інший – це зведений агрегат, що представляє спільне значення ознаки, вимірюване в тих же самих одиниць об'єкта на будь-якому відповідному рівні, j або i , в протилежному стані об'єкта, «після» або «до», інакше – вимірюване в позарівневих значеннях ознаки (поза опорного рівня ознака вимірюється в рухомих одиниць, в нерухомих одиниць вона вимірюється на опорному рівні (рис. 1, б). Щодо останнього, його значення пропонується позначати таким чином: символіка та її розташування є тими ж самими, за винятком номера рівня, поза якого вимірюється ознака і який позначається в кутових дужках ($\langle i \rangle$ або $\langle j \rangle$).

Використання створених агрегатів (зведених агрегатів) уможлиблює обчислення показників міжрівневого балансу, тільки вже в рівневих значеннях вимірюваної ознаки. Тоді чисельність одиниць об'єкта відіграє роль ваги біля того чи іншого значення рівня ознаки. Усі різновиди агрегованих показників можна представити в тих же самих категоріях, що були сформовані раніше для аналогічних неагрегованих показників [9, с. 41-51].

Оскільки нас цікавлять показники, якими оцінюються наслідки керуючого впливу на об'єкт, а такими є балансові показники пересування його одиниць [9, с. 45], то для їх визначення в агрегатній формі скористаємося рівневими агрегатами L_{Bij} , L_{Pij} , L_{Hi} і L_{zj} з балансово-розрахункової матриці:

$$\begin{cases} L_{Bij} = n_{ij}l_i, & i \neq j, i(j) = \overline{1, k} & (1) \\ L_{Pij} = n_{ij}l_j; & j \neq i, i(j) = \overline{1, k} & (2) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} L_{Hi} = n_{ii}l_i, i = \overline{1, k} & (1) \\ L_{3j} = n_{jj}l_j, j = \overline{1, k} & (2) \\ L_{Hi} = L_{3j}, i = j & (3) \end{cases} \quad (2)$$

		Прибули на рівень (залишилися на рівні):				Всього:					
Вибули (не перейшли) з рівня	<i>i</i> \ <i>j</i>	1(<i>l</i> ₁)	2(<i>l</i> ₂)	...	<i>k</i> (<i>l</i> _{<i>k</i>})	<i>L</i> _{<i>i</i>0}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>i</i>}	з НИХ:		<i>L</i> _{<i>H</i><i>i</i>}	
								<i>L</i> _{<i>B</i><i>i</i><i>v</i>}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>i</i><i>h</i>}		
	1(<i>l</i> ₁)	<i>n</i> ₁₁	<i>n</i> ₁₂	...	<i>n</i> _{1<i>k</i>}	<i>L</i> ₁₀	<i>L</i> _{<i>B</i>1}	<i>L</i> _{<i>B</i>1<i>v</i>}	х	<i>L</i> _{<i>H</i>1}	
	2(<i>l</i> ₂)	<i>n</i> ₂₁	<i>n</i> ₂₂	...	<i>n</i> _{2<i>k</i>}	<i>L</i> ₂₀	<i>L</i> _{<i>B</i>2}	<i>L</i> _{<i>B</i>2<i>v</i>}	<i>L</i> _{<i>B</i>2<i>h</i>}	<i>L</i> _{<i>H</i>2}	
	<i>k</i> (<i>l</i> _{<i>k</i>})	<i>n</i> _{<i>k</i>1}	<i>n</i> _{<i>k</i>2}	...	<i>n</i> _{<i>k</i><i>k</i>}	<i>L</i> _{<i>k</i>0}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>k</i>}	х	<i>L</i> _{<i>B</i><i>k</i><i>h</i>}	<i>L</i> _{<i>H</i><i>k</i>}	
Всього:	<i>L</i> _{<i>j</i>1}	<i>L</i> ₁₁	<i>L</i> ₂₁	...	<i>L</i> _{<i>k</i>1}	<i>L</i> ₀ / <i>L</i> ₁	<i>L</i>_{<i>B</i>}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>v</i>}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>h</i>}	<i>L</i>_{<i>H</i>}	
	<i>L</i> _{<i>П</i><i>j</i>}	<i>L</i> _{<i>П</i>1}	<i>L</i> _{<i>П</i>2}	...	<i>L</i> _{<i>П</i><i>k</i>}	<i>L</i>_{<i>П</i>}	ΔL	х	х	х	
	з НИХ:	<i>L</i> _{<i>П</i><i>h</i><i>j</i>}	х	<i>L</i> _{<i>П</i><i>h</i>2}	...	<i>L</i> _{<i>П</i><i>h</i><i>k</i>}	<i>L</i> _{<i>П</i><i>h</i>}	х	$\Delta L_{\frac{h}{v}}$	$\Delta L_{\frac{h}{h}}$	х
		<i>L</i> _{<i>П</i><i>v</i><i>j</i>}	<i>L</i> _{<i>П</i><i>v</i>1}	<i>L</i> _{<i>П</i><i>v</i>2}	...	х	<i>L</i> _{<i>П</i><i>v</i>}	х	$\Delta L_{\frac{v}{v}}$	$\Delta L_{\frac{v}{h}}$	х
	<i>L</i> _{3<i>j</i>}	<i>L</i> ₃₁	<i>L</i> ₃₂	...	<i>L</i> _{3<i>k</i>}	<i>L</i>₃	х	х	х	0	

Кластер (1 кв.)

<i>n</i> _{<i>ij</i>} (<i>i</i> ≠ <i>j</i>)	<i>L</i> _{<i>B</i><i>ij</i>} = <i>n</i> _{<i>ij</i>} <i>l</i> _{<i>i</i>}
<i>L</i> _{<i>П</i><i>ij</i>} = <i>n</i> _{<i>ij</i>} <i>l</i> _{<i>j</i>}	$\Delta L_{ij} = n_{ij}(l_j - l_i)$

		Вибули на рівень (не перейшли з рівня):				Всього:					
Прибули з рівня (залишилися на рівні)	<i>i</i> \ <i>j</i>	1(<i>l</i> ₁)	2(<i>l</i> ₂)	...	<i>k</i> (<i>l</i> _{<i>k</i>})	<i>L</i> _{(<i>i</i>)1}	<i>L</i> _{<i>П</i>(<i>i</i>)}	з НИХ:		<i>L</i> _{3<i>i</i>}	
								<i>L</i> _{<i>П</i>(<i>i</i>)<i>h</i>}	<i>L</i> _{<i>П</i>(<i>i</i>)<i>v</i>}		
	1(<i>l</i> ₁)	<i>n</i> ₁₁	<i>n</i> ₁₂	...	<i>n</i> _{1<i>k</i>}	<i>L</i> ₍₁₎₁	<i>L</i> _{<i>П</i>(1)}	<i>L</i> _{<i>П</i>(1)<i>h</i>}	х	<i>L</i> ₃₁	
	2(<i>l</i> ₂)	<i>n</i> ₂₁	<i>n</i> ₂₂	...	<i>n</i> _{2<i>k</i>}	<i>L</i> ₍₂₎₁	<i>L</i> _{<i>П</i>(2)}	<i>L</i> _{<i>П</i>(2)<i>h</i>}	<i>L</i> _{<i>П</i>(2)<i>v</i>}	<i>L</i> ₃₂	
	<i>k</i> (<i>l</i> _{<i>k</i>})	<i>n</i> _{<i>k</i>1}	<i>n</i> _{<i>k</i>2}	...	<i>n</i> _{<i>k</i><i>k</i>}	<i>L</i> _{(<i>k</i>)1}	<i>L</i> _{<i>П</i>(<i>k</i>)}	х	<i>L</i> _{<i>П</i>(<i>k</i>)<i>v</i>}	<i>L</i> _{3<i>k</i>}	
Всього:	<i>L</i> _{(<i>j</i>)0}	<i>L</i> ₍₁₎₀	<i>L</i> ₍₂₎₀	...	<i>L</i> _{(<i>k</i>)0}	<i>L</i> ₀ / <i>L</i> ₁	<i>L</i>_{<i>П</i>}	<i>L</i> _{<i>П</i><i>h</i>}	<i>L</i> _{<i>П</i><i>v</i>}	<i>L</i>₃	
	<i>L</i> _{<i>B</i>(<i>j</i>)}	<i>L</i> _{<i>B</i>(1)}	<i>L</i> _{<i>B</i>(2)}	...	<i>L</i> _{<i>B</i>(<i>k</i>)}	<i>L</i>_{<i>П</i>}	ΔL	х	х	х	
	з НИХ:	<i>L</i> _{<i>B</i><i>v</i>(<i>j</i>)}	х	<i>L</i> _{<i>B</i><i>v</i>(2)}	...	<i>L</i> _{<i>B</i><i>v</i>(<i>k</i>)}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>v</i>}	х	$\Delta L_{\frac{h}{v}}$	$\Delta L_{\frac{h}{h}}$	х
		<i>L</i> _{<i>B</i><i>h</i>(<i>j</i>)}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>h</i>(1)}	<i>L</i> _{<i>B</i><i>h</i>(2)}	...	х	<i>L</i> _{<i>B</i><i>h</i>}	х	$\Delta L_{\frac{v}{v}}$	$\Delta L_{\frac{v}{h}}$	х
	<i>L</i> _{<i>П</i><i>j</i>}	<i>L</i> _{<i>H</i>1}	<i>L</i> _{<i>H</i>2}	...	<i>L</i> _{<i>H</i><i>k</i>}	<i>L</i>_{<i>H</i>}	х	х	х	0	

Рис. 1. Агрегатна форма моделі міжрівневого балансу, складові якого виражені:
a – у рівневих значеннях ознаки; *b* – у позарівневих значеннях ознаки

Кожен з них являє собою сукупне значення ознаки, вимірюваної в рухомих (система рівнянь (1)) і в нерухомих (система рівнянь (2)) одиницях об'єкта: *L*_{*B**ij*} – в *n*_{*ij*} одиниць, вибулих з рівня *i*, на якому вони були у стані «до», на рівень *j*, на якому вони опинилися у стані

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

«після»; $L_{Пij}$ – в n_{ij} одиниць, прибулих на рівень j , на якому вони опинилися у стані «після», з рівня i , на якому вони були у стані «до»; L_{Hi} – в n_{ii} одиниць, тих, що не перейшли з рівня i ($j = i$) у стані «до» на будь-який інший рівень у стані «після»; L_{3j} – в n_{jj} одиниць, тих, що залишилися на рівні j ($i = j$) у стані «після», тому ж самому, на якому вони були у стані «до».

У табл. 1 представлені всі агреговані складові балансу, визначені у станах об'єкта «до» і «після» в рівневих і в позарівневих значеннях ознаки через агрегати (1) і (2).

Таблиця 1

Агреговані складові міжрівневого балансу та їх взаємозв'язки

№ п/п	Виражені через агреговані набори (L_{Bij} і $L_{Пij}$) вихідних даних балансу (n_{ij} , l_i , l_j)	Позначення	Характеристика: значення ознаки, вимірюване...
1	2	3	4
1.	У стані об'єкта «до»		
1.1.	$\sum_{j=1}^k n_{ij} l_i, i = 1, 2, \dots, k$	L_{i0}	на рівні i в N_{i0} одиниць об'єкта
1.2.	$\sum_{i=1}^k n_{ij} l_i, j = 1, 2, \dots, k$	$L_{<j>0}$	на будь-якому рівні в N_{j1} одиниць об'єкта
1.3.	$\sum_{i=1}^k L_{i0} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} l_i$	L_0	в N одиниць об'єкта
1.4.	$\sum_{j=1}^k L_{(j)0} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k n_{ij} l_i$		
1.5.	$\sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} l_i \Big _{i=2, \dots, k} + \sum_{j=i+1}^k n_{ij} l_i \Big _{i=1, \dots, k-1}$	L_{Bi}	на рівні i в N_{Bi} одиниць об'єкта
1.6.	$\sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_i \Big _{j=2, \dots, k} + \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_i \Big _{j=1, \dots, k-1}$	$L_{B<j>}$	в $N_{Пj}$ одиниць об'єкта на будь-якому рівні, крім рівня j (у вибулих на рівень j)
1.7.	$\sum_{i=1}^k L_{Bi} = \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} l_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k n_{ij} l_i$	L_B	в N_B ($N_{П}$) одиниць об'єкта
1.8.	$\sum_{j=1}^k L_{B(j)} = \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_i + \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_i$		
1.9.	$n_{ij} l_i \Big _{j=i}, i = 1, 2, \dots, k$	L_{Hi}	на рівні i в N_{Hi} одиниць об'єкта
1.10.		L_{3i}	на рівні i в N_{3i} одиниць об'єкта
1.11.	$\sum_{i=1}^k L_{Hi} \equiv \sum_{i=1}^k L_{3i} = \sum_{i=1}^k n_{ij} l_i \Big _{j=i}$	$L_{П}$	в $N_{П}$ (N_3) одиниць об'єкта
1.12.	$\sum_{j=i+1}^k n_{ij} l_i, i = 1, 2, \dots, k-1$	$L_{Biv.}$	на рівні i в $N_{Biv.}$ одиниць об'єкта
1.13.	$\sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_i, j = 2, 3, \dots, k$	$L_{Bv.<j>}$	в $N_{Пv.j}$ одиниць об'єкта на будь-якому нижчому рівні ніж рівень j (у прогресивно вибулих на рівень j)
1.14.	$\sum_{i=1}^{k-1} L_{Biv.} = \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k n_{ij} l_i$	$L_{Bv.}$	в $N_{Bv.}$ ($N_{Пv.}$) одиниць об'єкта
1.15.	$\sum_{j=2}^k L_{Bv.(j)} = \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_i$		
1.16.	$\sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} l_i, i = 2, 3, \dots, k$	$L_{Bin.}$	на рівні i в $N_{Bin.}$ одиниць об'єкта
1.17.	$\sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_i, j = 1, 2, \dots, k-1$	$L_{Bv.<j>}$	в $N_{Пv.j}$ одиниць об'єкта на будь-якому вищому рівні ніж рівень j (у регресивно вибулих на рівень j)
1.18.	$\sum_{i=2}^k L_{Bin.} = \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} l_i$	$L_{Bin.}$	в $N_{Bin.}$ ($N_{Пv.}$) одиниць об'єкта
1.19.	$\sum_{j=1}^{k-1} L_{Bv.(j)} = \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_i$		
2.	У стані об'єкта «після»		
2.1.	$\sum_{i=1}^k n_{ij} l_j, j = 1, 2, \dots, k$	L_{j1}	на рівні j в N_{j1} одиниць об'єкта
2.2.	$\sum_{j=1}^k n_{ij} l_j, i = 1, 2, \dots, k$	$L_{<i>1}$	на будь-якому рівні в N_{i0} одиниць об'єкта
2.3.	$\sum_{j=1}^k L_{j1} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k n_{ij} l_j$	L_1	в N одиниць об'єкта
2.4.	$\sum_{i=1}^k L_{(i)1} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} l_j$	L_1	в N одиниць об'єкта
2.5.	$\sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_j \Big _{j=2, \dots, k} + \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_j \Big _{j=1, \dots, k-1}$	$L_{Пj}$	на рівні j в $N_{Пj}$ одиниць об'єкта
2.6.	$\sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_j \Big _{i=2, \dots, k} + \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_j \Big _{i=1, \dots, k-1}$	$L_{П<i>}$	в N_{Bi} одиниць об'єкта на будь-якому рівні, крім рівня i (у прибулих з рівня i)
2.7.	$\sum_{j=1}^k L_{Пj} = \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_j + \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_j$	$L_{П}$	в $N_{П}$ (N_B) одиниць об'єкта
2.8.	$\sum_{i=1}^k L_{П(i)} = \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} l_j + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k n_{ij} l_j$		

1	2	3	4
2.9.	$n_{ij}l_j _{i=j}, j = 1, 2, \dots, k$	L_{3j}	на рівні j в N_{3j} одиниць об'єкта
2.10.		L_{Hj}	на рівні j в N_{Hj} одиниць об'єкта
2.11.	$\sum_{j=1}^k L_{3j} \equiv \sum_{j=1}^k L_{Hj} = \sum_{j=1}^k n_{ij}l_j _{i=j}$	L_3	в N_3 (N_H) одиниць об'єкта
2.12.	$\sum_{i=1}^{j-1} n_{ij}l_j, j = 2, 3, \dots, k$	$L_{\Pi n, j}$	на рівні j в $N_{\Pi n, j}$ одиниць об'єкта
2.13.	$\sum_{j=i+1}^k n_{ij}l_j, i = 1, 2, \dots, k-1$	$L_{\Pi < i > n.}$	в $N_{Вн.}$ одиниць об'єкта на будь-якому вищому рівні ніж рівень i (у прогресивно прибулих з рівня i)
2.14.	$\sum_{j=2}^k L_{\Pi n, j} = \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} n_{ij}l_j$	$L_{\Pi n.}$	в $N_{\Pi n.}$ ($N_{Вн.}$) одиниць об'єкта
2.15.	$\sum_{i=1}^{k-1} L_{\Pi(i)n.} = \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k n_{ij}l_j$		
2.16.	$\sum_{i=j+1}^k n_{ij}l_j, j = 1, 2, \dots, k-1$	$L_{\Pi в, j}$	на рівні j в $N_{\Pi в, j}$ одиниць об'єкта
2.17.	$\sum_{j=1}^{i-1} n_{ij}l_j, i = 2, 3, \dots, k$	$L_{\Pi < i > в.}$	в $N_{Вн.}$ одиниць об'єкта на будь-якому нижчому рівні ніж рівень i (у регресивно прибулих з рівня i)
2.18.	$\sum_{j=1}^{k-1} L_{\Pi в, j} = \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{i=j+1}^k n_{ij}l_j$	$L_{\Pi в.}$	в $N_{\Pi в.}$ ($N_{Вн.}$) одиниць об'єкта
2.19.	$\sum_{i=2}^k L_{\Pi(i)в.} = \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} n_{ij}l_j$		

Вони являють собою абсолютні показники структури об'єкта (№ 1.1-1.4, 2.1-2.4), структури пересування (№ 1.5-1.8, 1.12-1.19, 2.5-2.8, 2.12-2.19) і нерухомості (№ 1.9-1.11, 2.9-2.11) його одиниць. Під № 1.1, 1.2 і 2.1, 2.2 в агрегатній формі представлені складові співвідношення балансу, а під № 1.5, 1.6 і 2.5, 2.6 – складові узагальненого співвідношення балансу, які є базовими характеристиками міжрівневого балансу.

Сформуємо з агрегатів у першому та другому виразах систем рівнянь (1) і (2) таку різницю:

$$\Delta L_{ij} = \begin{cases} L_{\Pi ij} - L_{Вij} = n_{ij}l_j - n_{ij}l_i = n_{ij}(l_j - l_i), i \neq j; & (1) \\ 0, i = j. & (2) \end{cases} \quad (3)$$

Вона являє собою *агреговане абсолютне сальдо міжрівневого пересування* (рівняння (1)), інакше – *втрати* або *поповнення n_{ij} рухомих одиниць об'єкта*, що пересуваються з рівня i на рівень j , й *агреговане абсолютне сальдо рівневої нерухомості* (рівняння (2)), яке завжди дорівнює нулю. Значення ΔL_{ij} розташовано в правих нижніх комірках кластерів в I квадранті балансово-розрахункової матриці (рис. 1).

Якщо n_{ij} одиниць об'єкта пересуваються з рівня i на рівень j регресивно (рис. 2, а); $l_i > l_j$, то $\Delta L_{ij} < 0$, тоді шукане сальдо еквівалентно міжрівневим втратам об'єкта (піддіагональні елементи матриці). Якщо n_{ij} одиниць об'єкта пересуваються з рівня i на рівень j прогресивно (рис. 2, б); $l_i < l_j$, то $\Delta L_{ij} > 0$, тоді шукане сальдо еквівалентно міжрівневому поповненню об'єкта (наддіагональні елементи матриці). Головна діагональ матриці містить нульові значення сальдо ΔL_{ii} або ΔL_{jj} .

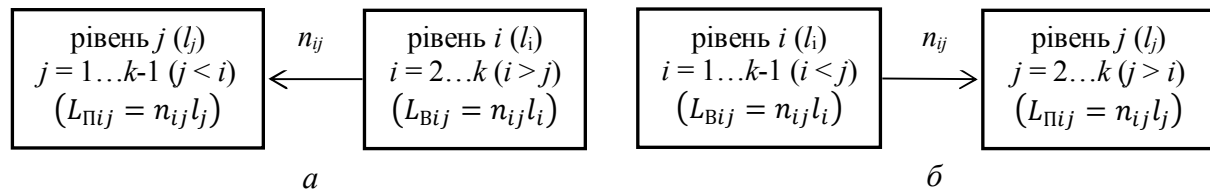


Рис. 2. Схема регресивного (а) і прогресивного (б) міжрівневого пересування

Отже, величина ΔL_{ij} характеризує зміни ознаки, що відбуваються в результаті міжрівневого пересування n_{ij} одиниць об'єкта в одному з можливих напрямів, як *парний рівневий* показник, і дає однозначну відповідь на те, як впливає напрям пересування на виникнення чи рівневих втрат, чи рівневого поповнення.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Щоб подивитися на наслідки пересування одиниць об'єкта на рівні i (j), їх прибуття з рівня (на рівень), представлено складовою балансу $L_{\Pi(i)}$ ($L_{\Pi j}$), та їх вибуття з рівня (на рівень), представлено складовою балансу $L_{B(i)}$ ($L_{B(j)}$), у «взаємодії» даного рівня з усіма іншими рівнями, представимо результат такої взаємодії у значеннях зведених агрегатів, спочатку в масштабах окремого рівня, а потім в масштабах об'єкта загалом, у тому числі з урахуванням напрямку пересування (через складові балансу $L_{\Pi(i)H}$, $L_{\Pi(i)V}$, $L_{\Pi H, j}$, $L_{\Pi V, j}$ і $L_{B(i)H}$, $L_{B(i)V}$, $L_{B V, j}$, $L_{B H, j}$). Абсолютні рівневі балансові показники пересування, визначені через складові пересування за напрямом, розмістимо в окремій таблиці (табл. 2).

Таблиця 2

Абсолютні рівневі показники сальдо міжрівневого пересування за напрямом (часткові)

№ п/п	Напрямок пересування	Формула	
		Через пересування з рівня i	Через пересування на рівень j
1.	Прогресивно-регресивне назустріч	$\Delta L_{iH}^{\cdot} \Big _{i=1, \bar{k}} = L_{\Pi(i)H} - L_{B(i)H} = \sum_{j=i+1}^k n_{ij} l_j - \sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} l_i \quad (4)$	$\Delta L_{B, j}^{\cdot} \Big _{j=1, \bar{k}} = L_{\Pi H, j} - L_{B H, (j)} = \sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_j - \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_i \quad (4')$
2.	Регресивно-прогресивне назустріч	$\Delta L_{iV}^{\cdot} \Big _{i=1, \bar{k}} = L_{\Pi(i)V} - L_{B(i)V} = \sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} l_j - \sum_{j=i+1}^k n_{ij} l_i \quad (5)$	$\Delta L_{H, j}^{\cdot} \Big _{j=1, \bar{k}} = L_{\Pi V, j} - L_{B V, (j)} = \sum_{i=j+1}^k n_{ij} l_j - \sum_{i=1}^{j-1} n_{ij} l_i \quad (5')$
3.	Прогресивне навздогін	$\Delta L_{iB}^{\cdot} \Big _{i=1, \bar{k}-1} = L_{\Pi(i)H} - L_{B(i)V} = \sum_{j=i+1}^k \Delta L_{ij} \quad (6)$	$\Delta L_{H, j}^{\cdot} \Big _{j=2, \bar{k}} = L_{\Pi H, j} - L_{B V, (j)} = \sum_{i=1}^{j-1} \Delta L_{ij} \quad (6')$
4.	Регресивне навздогін	$\Delta L_{iB}^{\cdot} \Big _{i=2, \bar{k}} = L_{\Pi(i)V} - L_{B(i)H} = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta L_{ij} \quad (7)$	$\Delta L_{B, j}^{\cdot} \Big _{j=1, \bar{k}-1} = L_{\Pi V, j} - L_{B H, (j)} = \sum_{i=j+1}^k \Delta L_{ij} \quad (7')$

Сукупні втрати або поповнення об'єкта, обумовлені пересуванням його одиниць у відповідному напрямі, визначаються у виді абсолютного групового сальдо міжрівневого пересування через складові сукупного пересування за напрямом i та через рівневе сальдо наступним чином:

$$\Delta L_{iH} = L_{\Pi H} - L_{B H} = \begin{cases} \sum_{i=1}^k \Delta L_{iB}^{\cdot}, & (1) \\ \sum_{j=1}^k \Delta L_{B, j}^{\cdot}; & (2) \end{cases} \quad (8)$$

$$\Delta L_{iV} = L_{\Pi V} - L_{B V} = \begin{cases} \sum_{i=1}^k \Delta L_{iH}^{\cdot}, & (1) \\ \sum_{j=1}^k \Delta L_{H, j}^{\cdot}; & (2) \end{cases} \quad (9)$$

$$\Delta L_{B, j} = L_{\Pi H} - L_{B V} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{j-1} \Delta L_{iB}^{\cdot}, & (1) \\ \sum_{j=2}^k \Delta L_{H, j}^{\cdot}; & (2) \end{cases} \quad (10)$$

$$\Delta L_{H, j} = L_{\Pi V} - L_{B H} = \begin{cases} \sum_{i=2}^j \Delta L_{iH}^{\cdot}, & (1) \\ \sum_{j=1}^{k-1} \Delta L_{B, j}^{\cdot}. & (2) \end{cases} \quad (11)$$

Щодо рівневого та групового сальдо сукупного пересування одиниць об'єкта, ці показники можна визначити наступним чином:

$$\Delta L_{B(i)} = L_{\Pi(i)} - L_{B(i)} = \begin{cases} \Delta L_{iB}^{\cdot} + \Delta L_{iH}^{\cdot}, & (1) \\ \Delta L_{iB}^{\cdot} + \Delta L_{iH}^{\cdot}; & (2) \end{cases} \quad (12)$$

$$\Delta L_{\Pi j} = L_{\Pi j} - L_{B(j)} = \begin{cases} \Delta L_{B, j}^{\cdot} + \Delta L_{H, j}^{\cdot}, & (1) \\ \Delta L_{H, j}^{\cdot} + \Delta L_{B, j}^{\cdot}; & (2) \end{cases} \quad (12')$$

$$\Delta L = L_{\Pi} - L_{B} = \begin{cases} \sum_{i=1}^k \Delta L_{Bi} \\ \sum_{j=1}^k \Delta L_{\Pi j} \end{cases} = \begin{cases} \Delta L_{H.} + \Delta L_{B.}, & (1) \\ \Delta L_{H./B.} + \Delta L_{B./H.}, & (2) \end{cases} \quad (13)$$

Абсолютні показники сальдо, рівневі ($\Delta L_{Bi} = L_{\langle i \rangle 1} - L_{i0}$ або $\Delta L_{\Pi j} = L_{j1} - L_{\langle j \rangle 0}$) і загальний ($\Delta L = L_1 - L_0$), визначені як різниця значень ознаки, вимірюваної в цих одиницях у стані «після» в порівнянні зі станом «до», завжди дають той же самий результат, що й показники (12), (12') і (13) відповідно, а тому їх можна ототожнити та представити як рівневі(-е) та загальні(-е) втрати (поповнення) об'єкта. Це пояснюється рівністю сукупних значень ознаки, вимірюваної в нерухомих одиницях об'єкта (тих, які залишилися на рівні («З»), і тих, які не перейшли з рівня («Н»)) в обох його станах: $L_{j1} = L_{\Pi j} + L_{3j}$, $L_{\langle i \rangle 1} = L_{\Pi \langle i \rangle} + L_{3i}$, $L_1 = L_{\Pi} + L_3$ і $L_{i0} = L_{Bi} + L_{Hi}$, $L_{\langle j \rangle 0} = L_{B \langle j \rangle} + L_{Hj}$, $L_0 = L_B + L_H$; $L_{3j} = L_{Hi}$, якщо $i = j$, $L_{3i} = L_{Hj}$, якщо $j = i$, $L_3 = L_H \Rightarrow L_{j1} - L_{\langle j \rangle 0} = L_{\Pi j} - L_{B \langle j \rangle}$, $L_{\langle i \rangle 1} - L_{i0} = L_{\Pi \langle i \rangle} - L_{Bi}$, $L_1 - L_0 = L_{\Pi} - L_B$.

Якщо в рівнянні (3) знак «-» замінити на знак «+», то результат додавання агрегатів, що представляють n_{ij} одиниць об'єкта, прибулих на рівень j та вибулих з рівня i , можна сформулювати як їх *міжрівневий оборот*. Аналогічна заміна знаків в рівняннях (4)-(13) дає абсолютні показники обороту, однак у визначенні обороту одиниць об'єкта, на відміну від його сальдо, беруть участь лише складові пересування.

Отже, втрати (поповнення) об'єкта можна виразити через універсальний показник або канонічну форму міжрівневого балансу, сальдо ΔL_{ij} (оборот ΣL_{ij}), й до того ж – на різних рівнях їх систематизації, а співвідносячи їх у тій чи іншій комбінації відповідно до правил, сформульованих в роботі [9, с. 41-51], можна визначати відносні балансові показники пересування: коефіцієнти рівневого приросту, коефіцієнти рівневого обороту, відносне сальдо пересування і коефіцієнт ефективності пересування – за «призначенням»; парні, частинні та часткові – за «ступенем агрегування»; рівневі, групові (загальні) – за «межами руху». Узагальнене співвідношення балансу такої моделі має наступний вигляд:

$$\Delta L = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k \Delta L_{ij} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \Delta L_{ij}, - \quad (14)$$

і характеризує, на скільки змінюється спільне значення ознаки, вимірюваної в N одиниць об'єкта, при його переході зі стану «до» у стан «після», й пояснюється втратами та поповненням, обумовленими всіма міжрівневими пересуваннями його одиниць.

Висновки відповідно до статті. Модель міжрівневого балансу, синтезована в агрегатній формі, дає уявлення про наслідки керуючого впливу на структурований об'єкт через те, що міжрівневий рух одиниць такого об'єкта систематизований в альтернативних категоріях пересування і нерухомості та представлений у значеннях чисельності міжрівневих пересувань і нерухомих одиниць, а також у значеннях ознаки, вимірюваної в одиницях об'єкта в шкалі відношень. Запропоновані поняття «міжрівневих втрат і поповнення» та відповідні парні показники сальдо й обороту, як канонічна форма міжрівневого балансу, є основою для створення системи балансових показників пересування й оцінки ефективності керуючого впливу.

Список використаних джерел

1. Орлов А. И. Прикладная статистика : учебник для вузов / А. И. Орлов. – М. : Экзамен, 2004. – 656 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для вузов / В. Е. Гмурман. – Изд. 9-е стереотипное. – М. : Высшая школа, 2003. – 479 с.
3. Статистика : підручник / С. С. Герасименко, А. В. Головач, А. М. Єріна [та ін.] ; за наук. ред. д-ра екон. наук С. С. Герасименка. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : КНЕУ, 2000. – 467 с.
4. Про методичні рекомендації щодо запровадження Європейської кредитно-трансферної системи та її ключових документів у вищих навчальних закладах [Електронний ресурс] : Лист

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Міністерства освіти і науки України від 26.02.2010 р. за № 1/9-119. – Режим доступу : http://osvita.ua/legislation/Vishya_osvita/6810.

5. Новиков Д. А. Статистические методы в педагогических исследованиях (типовые случаи) / Д. А. Новиков. – М. : МЗ-Пресс, 2004. – 67 с.

6. *Методологічні основи формування вибірових сукупностей для проведення органами Державної статистики України базових державних вибірових обстежень населення (домогосподарств)* [Електронний ресурс] : Наказ Держкомстату України від 02.08.2005 р. № 223. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua>.

7. Белова А. Н. Шкалы, тесты и опросники в неврологии и нейрохирургии / А. Н. Белова. – М. : Самарский дом печати, 2004. – 440 с.

8. *Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения* [Электронный ресурс] : Межгосударственный стандарт, ГОСТ 27.310-95, группа Т51. – Режим доступу : <http://docs.cntd.ru/document/gost-27-310-95>.

9. Дубягін О. Б. Балансовий метод статистичного аналізу результатів педагогічного експерименту : [монографія] / О. Б. Дубягін, О. М. Печко. – Чернігів : ЧНТУ, 2015. – 260 с.

10. Терехов Л. Л. Экономико-математические методы / Л. Л. Терехов. – М. : Статистика, 1968. – 360 с.

References

1. Orlov, A. I. (2004). *Prikladnaya statistika [Applied Statistics]*. Moscow : Ekzamen [in Russian].
2. Gmurman, V. E. (2003). *Teoriya veroiatnostei i matematicheskaya statistika [Theory of Probability and Mathematical Statistics]*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
3. Herasymenko S. S., Holovach A. V., Yerina A. M. et al. (2000). *Statystyka [Statistics]*. Kyev: KNEU [in Ukrainian].
4. *Pro metodychni rekomendatsii shchodo zaprovadzhennia Yevropeiskoyi kredytno-transfernoyi systemy ta yii klyuchovykh dokumentiv u vyshchyykh navchalnykh zakladakh [On methodical recommendations for introduction of the European credit transfer system and its key documents in higher educational institutions]*. Retrieved from http://osvita.ua/legislation/Vishya_osvita/6810.
5. Novikov, D. A. (2004). *Statisticheskie metody v pedagogicheskikh issledovaniyakh (tipovye sluchai) [Statistical methods in pedagogical studies (typical cases)]*. Moscow: MZ-Press [in Russian].
6. *Metodolohichni osnovy formuvannya vybirkovykh sukupnostei dlia provedennia orhanamy Derzhavnoi statystyky Ukrainy bazovykh derzhavnykh vybirkovykh obstezhen naseleennia (domohospodarstv) [Methodological bases of formation of sample aggregates for carrying out of basic state sample surveys of the population (households) by the bodies of State statistics of Ukraine]*. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua>.
7. Belova, A. N. (2004). *Shkaly, testy i oprosniki v nevrologi i neirokhirurgii [Scales, tests and questionnaires in neurologists and neurosurgery]*. Moscow: Samarskii dom pechati [in Russian].
8. *Nadezhnost v tekhnike. Analiz vidov, posledstviu i kritichnosti otkazov. Osnovnye polozheniia [Reliability in technology. Analysis of species, consequences and criticality of failures. Basic Provisions]*. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/gost-27-310-95>.
9. Dubiahin, O. B. & Pechko, O. M. (2015). *Balansovyi metod statystychnoho analizu rezultativ pedahohichnoho eksperymentu [Balance method of statistical analysis of pedagogical experiment results]*. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].
10. Terekhov, L. L. (1968). *Ekonomiko-matematicheskie metody [Economic and mathematical methods]*. Moscow: Statistika [in Russian].

UDC 311+512

Alexander Dubyagin

MODEL OF INTER-LEVEL BALANCE: AGGREGATE FORM

Urgency of the research. *Synthesis of the inter-level balance model in the aggregate form is an actual scientific task of quantifying the controlled change in the structure of an object.*

Target setting. *The model synthesized only in the values of the number of object units experiencing inter-level displacements does not give an idea of the consequences of the control action on the basis of the attribute measured in these units in the relationship scale.*

Actual scientific researches and issues analysis. For a simple balance model, the author has already proposed a system of non-aggregated indices of the inter-level balance and formulated their interrelations.

Uninvestigated parts of general matters defining. This is the aggregate form of the inter-level balance model.

The research objective. Synthesize the model of inter-level balance, the components of which are expressed in the values of the measured attribute and the number of inter-level movements of units of the object.

The statement of basic materials. The aggregate form of the model is based on such components of the balance as level (extra-level) losses and level (extra-level) replenishment of the object based on the characteristic measured in its units in the relationship scale at a certain level (outside the level) in the "after" and "before" conditions of external impact. These components determine the level structure of the object and the structure of the movement of its units and explain the consequences of the control effect at various levels of their systematization in the model. The generalized balance ratio, which formalizes the result of the impact in aggregate form, characterizes the total loss or replenishment of the object.

Conclusions. The aggregate form of the inter-level balance model allows to form a system of corresponding indicators and to assess the effectiveness of the control action on a structured object.

Keywords: aggregate form; balance model; losses; inter-level movement; turnover; replenishment.

Tabl.: 2. Fig.: 2. References: 10.

Дубягін Олександр Борисович – кандидат технічних наук, доцент (м. Чернігів, Україна).

Dubyagin Alexander – PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: aleksandrduyagin@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9512-242X>

ResearcherID: G-9774-2014

Андрій Ільєнко, Людмила Руновська

ЧИСЕЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИРОДЖЕННЯ В МОДЕЛІ КРАМЕРА-ЛУНДБЕРГА

Актуальність теми дослідження. Останнім часом стрімко зростає інтерес до комп'ютерних технологій прогнозування у страховій справі. Таке прогнозування може бути використано, зокрема, для визначення цінової політики страхових компаній.

Постановка проблеми. Наразі виникає необхідність розробки простих та точних чисельних алгоритмів оцінювання ймовірності банкрутства, які можуть бути ефективно реалізовані комп'ютерними програмними засобами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні накопичений великий інструментарій чисельних методів оцінювання різних характеристик процесу страхового ризику – ймовірностей банкрутства на скінченному та нескінченному часових горизонтах, математичного сподівання та дисперсії часу банкрутства тощо.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Наявні методи або є занадто складними в реалізації, або демонструють недостатню точність оцінювання.

Постановка завдання. Розробка чисельного алгоритму, що уточнює класичну апроксимацію де Вілдера для оцінювання ймовірності банкрутства на нескінченному часовому горизонті у страховій моделі Крамера-Лундберга, а також дослідження точності роботи цього алгоритму на основі формули Беекмана.

Виклад основного матеріалу. У статті розроблено новий метод наближеного знаходження ймовірності виродження процесу страхового ризику Крамера-Лундберга на нескінченному часовому горизонті. Цей метод уточнює апроксимацію, запропоновану Ф. де Вілдером, шляхом заміни еталонного експоненціального розподілу страхових виплат на суміші двох експоненціальних. Комп'ютерне моделювання показує істотно вищу точність запропонованого алгоритму в порівнянні з підходом де Вілдера.

Висновки відповідно до статті. Запропонований у роботі алгоритм дозволяє оцінювати ймовірність банкрутства страхової компанії в моделі Крамера-Лундберга. Метод заснований на заміні процесу страхового ризику іншим процесом ризику, для якого страхові виплати розподілені за законом, що є сумішшю двох експоненціальних розподілів. Перевагою розробленого методу є його істотно вища точність у порівнянні з апроксимацією де Вілдера. Особливостями методу є вища складність реалізації внаслідок необхідності наближеного розв'язання системи нелінійних рівнянь, а також те, що ця система має придатні розв'язки не для будь-якого розподілу страхових виплат.

Ключові слова: страхова модель Крамера-Лундберга; процес страхового ризику; ймовірність банкрутства; апроксимація де Вілдера; точність апроксимації.

Табл.: 6. Рис.: 1. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження та постановка проблеми. Згідно з класичною моделлю Крамера-Лундберга величина капіталу страхової компанії $U(t)$ в момент часу $t \geq 0$ може бути записана в такому вигляді:

$$U(t) = u_0 + ct - \sum_{k=1}^{N(t)} X_k, \quad (1)$$

де u_0 – величина початкового капіталу; c – сумарна величина страхових внесків від усіх клієнтів компанії за одиницю часу; $N = (N(t), t \geq 0)$ – однорідний процес Пуассона інтенсивності $\lambda > 0$, що описує кількість страхових подій з усіма клієнтами до моменту t , та $X_k, k \in \mathbb{N}$ – страхові виплати, які вважаються незалежними однаково розподіленими невід'ємними випадковими величинами зі спільною функцією розподілу F та скінченним математичним сподіванням $\mu = \int_0^{\infty} x dF(x)$. Процес N та випадкова послідовність $(X_k, k \in \mathbb{N})$ також є незалежними.

Модель Крамера-Лундберга є класичною у страховій математиці та успішно застосовується в тих випадках, коли кількість клієнтів компанії є сталою, а потік страхових подій може вважатися пуассонівським.

Як добре відомо з теорії пуассонівських процесів, за вищезазначених умов часові проміжки між страховими подіями є незалежними випадковими величинами, розподіленими за експоненціальним законом із параметром λ . Графік типової реалізації процесу страхового ризику (1) зображений на рисунку.

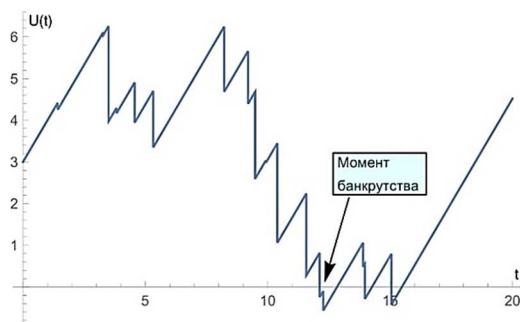


Рис. Типова реалізація процесу страхового ризику

Банкрутством страхової компанії називають випадкову подію $\{\exists t > 0 : U(t) < 0\}$, а моментом банкрутства – випадкову величину $\tau = \min\{t > 0 : U(t) < 0\}$. Ймовірність банкрутства $\psi(u_0) = \mathbb{P}\{\tau < \infty | U(0) = u_0\}$ та ймовірність небанкрутства $\varphi(u_0) = 1 - \psi(u_0) = \mathbb{P}\{\tau = \infty | U(0) = u_0\}$ як функції величини початкового капіталу u_0 є важливими характеристиками процесу ризику. Їх знання дозволяє визначити цінову політику компанії.

Якщо виконується умова $c > \lambda\mu$, яку в англійській літературі називають умовою NPC (net profit condition), дохід компанії за одиницю часу перевищує її середні витрати, і тому за будь-якої величини початкового капіталу $u_0 \geq 0$ існує ненульова ймовірність небанкрутства впродовж нескінченного часу: $\forall u_0 \geq 0 : \varphi(u_0) > 0$. У цьому випадку функція φ задовольняє інтегральне рівняння Вольтерра [1, с. 162–163]

$$\varphi(u_0) = 1 - \frac{\lambda\mu}{c} + \frac{\lambda}{c} \int_0^{u_0} (1 - F(y))\varphi(u_0 - y)dy. \quad (2)$$

Якщо ж умову NPC не виконано, то $\varphi(u_0) = 0$ для будь-якого u_0 , і компанія приречена на банкрутство незалежно від величини її початкового капіталу.

На жаль, рівняння (2) може бути розв'язане аналітично лише в рідкісних випадках. Зокрема, якщо страхові виплати X_k мають експоненціальний розподіл, тобто $F(x) = 1 - e^{-x/\mu}$, $x \geq 0$, то, як добре відомо [1, с. 167],

$$\varphi(u_0) = 1 - \frac{\lambda\mu}{c} e^{\left(\frac{\lambda}{c} - \frac{1}{\mu}\right)u_0}, \quad u_0 \geq 0. \quad (3)$$

Цей розв'язок може бути легко одержаний із рівняння (2) шляхом застосування перетворення Лапласа. Якщо розподіл X_k є сумішшю двох експоненціальних законів, явний вигляд ймовірності банкрутства знайдений у монографії [2], то застосовується теорема 2, що наведена нижче. У випадку страхових виплат, що мають гама-розподіл, ймовірність банкрутства досліджувалася в роботах [3] та [4]. У цій ситуації значення ймовірності знайдено неявно – отримані формули містять інтеграли або суми рядів, які не можуть бути виражені в аналітичній формі.

Наведені міркування обґрунтовують необхідність розробки наближених методів знаходження ймовірності банкрутства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні у страховій математиці накопичений великий інструментарій різноманітних наближених методів оцінювання характеристик процесу страхового ризику – ймовірностей банкрутства на скінченному та нескінченному часових горизонтах, математичного сподівання та дисперсії часу банкрутства тощо (див., напр., монографії [5] та [6], роботи [7] – [10], а також посилання в них). Одним із найбільш простих та природних методів є апроксимація де Вілдера [9], запропонована ще у 1978 р. Ідея цього методу полягає в заміні процесу страхового ри-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

зику іншим, але в певному сенсі близьким процесом ризику з експоненціально розподіленими виплатами. Ймовірність небанкрутства для останнього може бути знайдена за формулою (3), що є хорошою оцінкою цієї ймовірності також для початкового процесу.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. При всій своїй простоті апроксимація де Вілдера дає досить точні оцінки ймовірності банкрутства. Але в деяких ситуаціях ця точність усе ж таки виявляється недостатньою. Водночас ці оцінки можуть бути зроблені ще точнішими, якщо замість еталонного експоненціального розподілу використовувати інший розподіл із більшою кількістю параметрів. Це дозволило б підібрати еталонний процес ризику ще більш близьким до початкового, що збільшило б якість апроксимації.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка чисельного алгоритму, що уточнює класичну апроксимацію де Вілдера для наближеного знаходження ймовірності банкрутства страхової компанії на нескінченному часовому горизонті в моделі Крамера-Лундберга. Уточнення полягає у використанні еталонного процесу ризику, що побудований за страховими виплатами, розподіл яких є сумішшю двох експоненціальних законів. Такий розподіл має три незалежних параметри, які разом з інтенсивністю пуассонівського потоку страхових подій та величиною страхових внесків за одиницю часу утворюють п'ять важелів, за оптимального підбору яких початковий процес за своїми характеристиками буде дуже близьким до еталонного. Іншим завданням роботи є дослідження точності роботи цього алгоритму за допомогою комп'ютерної симуляції на основі формули Беекмана [11].

Виклад основного матеріалу. Разом із процесом страхового ризику (1) розглянемо інший процес $\tilde{U} = (\tilde{U}(t), t \geq 0)$, заданий формулою

$$\tilde{U}(t) = u_0 + \tilde{c}t - \sum_{k=1}^{\tilde{N}(t)} \tilde{X}_k,$$

де \tilde{N} – процес Пуассона інтенсивності $\tilde{\lambda}$, а еталонні страхові виплати $\tilde{X}_k, k \in \mathbb{N}$, мають розподіл, що є сумішшю двох експоненціальних. Іншими словами, їх (спільна для всіх k) функція розподілу має вигляд

$$\tilde{F}(x) = \tilde{q}(1 - e^{-\tilde{\alpha}x}) + (1 - \tilde{q})(1 - e^{-\tilde{\beta}x}), \quad x \geq 0, \tag{4}$$

де $\tilde{\alpha}, \tilde{\beta} > 0$ – параметри експоненціальних компонент суміші, а $\tilde{q} \in [0, 1]$ – ваговий коефіцієнт самої суміші.

Таким чином, еталонний процес \tilde{U} має п'ять незалежних параметрів: $\tilde{c}, \tilde{\lambda}, \tilde{\alpha}, \tilde{\beta}, \tilde{q}$, які можна регулювати для його “підгонки” під процес U . Таку “підгонку” природно здійснювати шляхом прирівнювання перших п'яти моментів обох процесів:

$$\mathbb{E}U^k(t) = \mathbb{E}\tilde{U}^k(t), \quad k = 1, \dots, 5. \tag{5}$$

Моменти старших порядків процесів U та \tilde{U} мають досить складну форму. Тому замість (5) будемо прирівнювати відповідні кумулянти. Нагадаємо, що кумулянт k -го порядку випадкової величини ξ з характеристичною функцією χ_ξ називають число

$$\varkappa_k(\xi) = \frac{1}{i^k} \frac{d^k}{ds^k} \text{Ln } \chi_\xi(s) \Big|_{s=0}, \tag{6}$$

де Ln – головне значення логарифму. Еквівалентність прирівнювання моментів і кумулянтів впливає з формул Леонова-Ширяєва. Для реалізації такого прирівнювання нам буде потрібне таке твердження.

Лема 1. Кумулянт k -го порядку величини $U(t)$ має вигляд

$$\varkappa_k(U(t)) = (u_0 + ct) \cdot \mathbf{1}\{k=1\} + (-1)^k \lambda t \cdot \mathbb{E}X_1^k, \quad k \in \mathbb{N},$$

де $\mathbf{1}\{k=1\}$ позначає індикатор події $\{k=1\}$ і дорівнює 1 при $k=1$ та 0 в інших випадках.

Доведення. Оскільки випадкова величина $N(t)$ розподілена за законом Пуассона з параметром λt , її твірня функція має вигляд $G_{N(t)}(z) = e^{\lambda t(z-1)}$. Тому характеристична функція величини $U(t)$ може бути записана у формі

$$\begin{aligned}\chi_{U(t)}(s) &= \mathbb{E}e^{isU(t)} = e^{is(u_0+ct)} \cdot \mathbb{E} \exp\left(-is \sum_{k=1}^{N(t)} X_k\right) = \\ &= e^{is(u_0+ct)} G_{N(t)}(\chi_X(-s)) = e^{is(u_0+ct)+\lambda t(\chi_X(-s)-1)},\end{aligned}$$

де через χ_X позначено спільну характеристичну функцію випадкових величин X_k . Отже, з формули (6) маємо:

$$\begin{aligned}\kappa_k(U(t)) &= \frac{1}{i^k} \frac{d^k}{ds^k} \text{Ln } \chi_{U(t)}(s) \Big|_{s=0} = \frac{1}{i^k} \frac{d^k}{ds^k} \left(is(u_0+ct) + \lambda t(\chi_X(-s)-1) \right) \Big|_{s=0} = \\ &= (u_0+ct) \cdot \mathbf{1}\{k=1\} + (-1)^k \lambda t \cdot \frac{1}{i^k} \chi_X^{(k)}(0) = (u_0+ct) \cdot \mathbf{1}\{k=1\} + (-1)^k \lambda t \cdot \mathbb{E}X_1^k,\end{aligned}$$

де в останній рівності використана формула зв'язку між моментами випадкової величини та значеннями похідних її характеристичної функції в нулі.

З вигляду спільної функції розподілу випадкових величин \tilde{X}_k (4) легко одержати значення їх моментів: $\mathbb{E}X_1^k = k! \left(\frac{\tilde{q}}{\tilde{\alpha}^k} + \frac{1-\tilde{q}}{\tilde{\beta}^k} \right)$. Тому наступне твердження є безпосереднім наслідком леми 1.

Теорема 1. Нехай набір параметрів $\tilde{c}, \tilde{\lambda}, \tilde{\alpha}, \tilde{\beta}, \tilde{q}$ є розв'язком системи нелінійних рівнянь

$$\begin{cases} c - \lambda \mathbb{E}X_1 = \tilde{c} - \tilde{\lambda} \left(\frac{\tilde{q}}{\tilde{\alpha}} + \frac{1-\tilde{q}}{\tilde{\beta}} \right), \\ \lambda \mathbb{E}X_1^k = \tilde{\lambda} k! \left(\frac{\tilde{q}}{\tilde{\alpha}^k} + \frac{1-\tilde{q}}{\tilde{\beta}^k} \right), \quad k = 2, \dots, 5. \end{cases} \quad (7)$$

Тоді перші п'ять моментів процесу U збігаються з відповідними моментами процесу \tilde{U} .

Отже, наближенням до ймовірності банкрутства для процесу ризику U може служити така ймовірність для процесу ризику \tilde{U} , набір параметрів якого є розв'язком системи рівнянь (7). Оскільки розподіл \tilde{X}_k є сумішшю двох експоненціальних законів, ймовірність банкрутства для процесу \tilde{U} може бути знайдена з наступної теореми [2].

Теорема 2. Нехай спільна функція розподілу страхових виплат має вигляд (4). Тоді ймовірність банкрутства при початковому капіталі u_0 становить

$$\psi(u_0) = \frac{(\rho - r_1)e^{-r_1 u_0} + (r_2 - \rho)e^{-r_2 u_0}}{(1 + \theta)(r_2 - r_1)},$$

де позначено

$$\begin{aligned}r_{1,2} &= \frac{\rho + \theta(\tilde{\alpha} + \tilde{\beta}) \mp \sqrt{(\rho + \theta(\tilde{\alpha} + \tilde{\beta}))^2 - 4\tilde{\alpha}\tilde{\beta}\theta(1 + \theta)}}{2(1 + \theta)}, \\ \rho &= \tilde{\alpha} + \frac{\tilde{q}}{\mu} \left(\frac{\tilde{\beta}}{\tilde{\alpha}} - 1 \right), \quad \theta = \frac{\tilde{c}}{\tilde{\lambda}\mu} - 1, \quad \mu = \frac{\tilde{q}}{\tilde{\alpha}} + \frac{1-\tilde{q}}{\tilde{\beta}}.\end{aligned}$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Перейдемо тепер до дослідження якості розробленого алгоритму. Для цього ми будемо використовувати формулу Бескмана для ймовірності небанкрутства [11]. Розглянемо послідовність незалежних однаково розподілених невід’ємних випадкових величин $Y_k, k \in \mathbb{Z}$, зі спільною функцією розподілу

$$F_Y(y) = \mu^{-1} \int_0^y (1 - F(x)) dx, \quad y \geq 0. \tag{8}$$

Тоді за умови NPC ймовірність небанкрутства $\varphi(u_0)$ при початковому капіталі u_0 може бути знайдена за формулою

$$\varphi(u_0) = \left(1 - \frac{\lambda\mu}{c}\right) \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\lambda\mu}{c}\right)^k \mathbb{P}\{Y_1 + \dots + Y_k \leq u_0\}\right].$$

Формула Бескмана допускає таку інтерпретацію: нехай випадкова величина v має геометричний розподіл з параметром $1 - \frac{\lambda\mu}{c}$ і є незалежною від усіх Y_k . Тоді

$$\varphi(u_0) = \mathbb{P}\{Y_1 + \dots + Y_v \leq u_0\}.$$

Ймовірність у правій частині можна знайти шляхом комп’ютерного моделювання з достатньо великою кількістю реалізацій N . Для цього необхідно змодельовати N незалежних копій величини v – позначимо їх V_1, \dots, V_N – а також незалежні однаково розподілені випадкові величини

$$Y_1^1, Y_2^1, \dots, Y_{V_1}^1; \quad Y_1^2, Y_2^2, \dots, Y_{V_2}^2; \quad \dots; \quad Y_1^N, Y_2^N, \dots, Y_{V_N}^N \tag{9}$$

зі спільною функцією розподілу вигляду (8). Нехай M позначає кількість серій в (9), для яких сума величин у серії не перевищує u_0 . Тоді згідно з законом великих чисел $\varphi(u_0) \approx \frac{M}{N}$ для великих N .

Перейдемо до результатів перевірки якості апроксимації¹. Спочатку розглянемо процес ризику, побудований за страховими виплатами, розподіленими за законом, що є сумішшю трьох експоненціальних розподілів із ваговими коефіцієнтами 0,1; 0,2; 0,7 та параметрами експоненціальних компонент 1; 0,1; 0,2. Іншими словами, функція розподілу страхових виплат має вигляд

$$F(x) = 0,1(1 - e^{-x}) + 0,2(1 - e^{-0,1x}) + 0,7(1 - e^{-0,2x}), \quad x \geq 0.$$

Покладемо $\lambda = 1, c = 15$. Результати перевірки якості наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати перевірки якості запропонованої апроксимації

Величина початкового капіталу u_0	Апроксимація де Вілдера	Уточнена апроксимація на основі теореми 1	Результат моделювання за формулою Бескмана	Відносна похибка апроксимації де Вілдера, %	Відносна похибка апроксимації на основі теореми 1, %
10	0,85447	0,85959	0,85960	0,60	0,001
20	0,93832	0,94148	0,94205	0,40	0,06
30	0,97386	0,97434	0,97446	0,06	0,01
40	0,98892	0,98847	0,98830	0,06	0,02
50	0,99531	0,99477	0,99476	0,06	0,001

¹ Автори вдячні І. Ю. Федчишиній за проведення комп’ютерного моделювання.

Тепер розглянемо процес ризику, побудований за такими ж страховими виплатами, але покладемо $\lambda = 1$, $c = 30$. Результати перевірки якості наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати перевірки якості запропонованої апроксимації

Величина початкового капіталу u_0	Апроксимація де Вілдера	Уточнена апроксимація на основі теореми 1	Результат моделювання за формулою Бескмана	Відносна похибка апроксимації де Вілдера, %	Відносна похибка апроксимації на основі теореми 1, %
10	0,94352	0,94699	0,94667	0,33	0,03
20	0,98098	0,98225	0,98220	0,13	0,005
30	0,99359	0,99346	0,99303	0,06	0,04
40	0,99784	0,99748	0,99759	0,03	0,01
50	0,99927	0,99901	0,99895	0,03	0,01

Нехай тепер процес ризику побудований за страховими виплатами, розподіленими за законом, що є сумішшю чотирьох експоненціальних розподілів із ваговими коефіцієнтами 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 та параметрами експоненціальних компонент 1; 0,1; 0,2; 0,3. Іншими словами, функція розподілу страхових виплат має вигляд

$$F(x) = 0,1(1 - e^{-x}) + 0,2(1 - e^{-0.1x}) + 0,3(1 - e^{-0.2x}) + 0,4(1 - e^{-0.3x}), \quad x \geq 0.$$

Покладемо $\lambda = 1$, $c = 8$. Результати перевірки якості наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати перевірки якості запропонованої апроксимації

Величина початкового капіталу u_0	Апроксимація де Вілдера	Уточнена апроксимація на основі теореми 1	Результат моделювання за формулою Бескмана	Відносна похибка апроксимації де Вілдера, %	Відносна похибка апроксимації на основі теореми 1, %
10	0,66961	0,67529	0,67753	1,17	0,33
20	0,80855	0,81448	0,81315	0,57	0,16
30	0,88906	0,89158	0,89291	0,43	0,15
40	0,93572	0,93623	0,93670	0,10	0,05
50	0,96275	0,96242	0,96238	0,04	0,004

Тепер розглянемо процес ризику, побудований за такими ж страховими виплатами, але покладемо $\lambda = 2$, $c = 15$. Результати перевірки якості наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати перевірки якості запропонованої апроксимації

Величина початкового капіталу u_0	Апроксимація де Вілдера	Уточнена апроксимація на основі теореми 1	Результат моделювання за формулою Бескмана	Відносна похибка апроксимації де Вілдера, %	Відносна похибка апроксимації на основі теореми 1, %
10	0,62479	0,62957	0,63174	1,10	0,34
20	0,77039	0,77631	0,77663	0,80	0,04
30	0,85949	0,86238	0,86328	0,44	0,10
40	0,91402	0,91490	0,91560	0,17	0,08
50	0,94738	0,94731	0,94827	0,10	0,09

Нехай тепер процес ризику побудований за страховими виплатами, розподіленими за законом, що є сумішшю експоненціального розподілу з параметром 0,1 та рівномірного розподілу на відрізьку $[0,10]$ з ваговими коефіцієнтами 0,5; 0,5. Іншими словами, функція розподілу страхових виплат має вигляд

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 0,5 \cdot (1 - e^{-0.1x}) + 0,5 \cdot x / 10, & x \in [0, 10], \\ 0,5 \cdot (1 - e^{-0.1x}) + 0,5, & x > 10. \end{cases}$$

Покладемо $\lambda = 1$, $c = 12$. Результати перевірки якості наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Результати перевірки якості запропонованої апроксимації

Величина початкового капіталу u_0	Апроксимація де Вілдера	Уточнена апроксимація на основі теореми 1	Результат моделювання за формулою Бескмана	Відносна похибка апроксимації де Вілдера, %	Відносна похибка апроксимації на основі теореми 1, %
10	0,62499	0,63126	0,63255	1,20	0,20
20	0,76250	0,76727	0,76717	0,61	0,01
30	0,84959	0,85166	0,85090	0,15	0,09
40	0,90475	0,90535	0,90522	0,05	0,01
50	0,93967	0,93961	0,93982	0,02	0,02

Тепер розглянемо процес ризику, побудований за такими ж страховими виплатами, але покладемо $\lambda = 2$, $c = 20$. Результати перевірки якості наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Результати перевірки якості запропонованої апроксимації

Величина початкового капіталу u_0	Апроксимація де Вілдера	Уточнена апроксимація на основі теореми 1	Результат моделювання за формулою Бескмана	Відносна похибка апроксимації де Вілдера, %	Відносна похибка апроксимації на основі теореми 1, %
10	0,46952	0,47295	0,47533	1,22	0,50
20	0,61090	0,61491	0,61588	0,81	0,16
30	0,71461	0,71708	0,71594	0,19	0,16
40	0,79067	0,79203	0,79149	0,10	0,07
50	0,84646	0,84712	0,84702	0,07	0,01

З табл. 1–6 бачимо, що відносна похибка запропонованого методу апроксимації майже завжди виявляється істотно нижчою, ніж відносна похибка апроксимації де Вілдера.

Висновки відповідно до статті. У роботі запропоновано новий метод наближеного знаходження ймовірності банкрутства страхової компанії в моделі Крамера-Лундберга, який уточнює класичну апроксимацію де Вілдера. Метод заснований на заміні процесу страхового ризику іншим процесом ризику, для якого страхові виплати розподілені за законом, що є сумішшю двох експоненціальних розподілів. Перевагою розробленого методу є його істотно більша точність у порівнянні з апроксимацією де Вілдера. Особливостями методу є вища складність реалізації внаслідок необхідності наближеного розв'язання системи нелінійних рівнянь, а також те, що ця система має придатні розв'язки не для будь-якого розподілу страхових виплат.

Список використаних джерел

1. Mikosch T. Non-life insurance mathematics: an introduction with the Poisson process / T. Mikosch. – Springer Science & Business Media, 2009. – 432 p.
2. Panjer H. H. Insurance risk models / H. H. Panjer, G. E. Willmot. – Society of Actuaries, 1992. – 442 p.
3. Thorin O. The ruin problem in case the tail of the claim distribution is completely monotone / O. Thorin // Scandinavian Actuarial Journal. – 1973. – № 2. – P. 100–119.
4. Constantinescu C. Ruin probabilities in classical risk models with gamma claims [Electronic resource] / C. Constantinescu, G. Samorodnitsky, W. Zhu // Scandinavian Actuarial Journal. – 2017. – Mode of access : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03461238.2017.1402817>.

5. Asmussen S. Ruin probabilities / S. Asmussen, H. Albrecher. – Singapore : World Scientific, 2010. – 620 p.
6. Grandell J. Aspects of risk theory / J. Grandell. – New York : Springer-Verlag, 1991. – 175 p.
7. Burnecki K. Ruin probabilities in finite and infinite time / K. Burnecki, P. Mišta, A. Weron // Čížek P., Weron R., Härdle W., Statistical tools for finance and insurance. – Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2005. – P. 341–379.
8. Burnecki K. What is the best approximation of ruin probability in infinite time? / K. Burnecki, P. Mišta, A. Weron // Applicationes Mathematicae. – 2005. – № 2 (32). – P. 155–176.
9. De Vylder F. A practical solution to the problem of ultimate ruin probability / F. de Vylder // Scandinavian Actuarial Journal. – 1978. – № 2. – P. 114–119.
10. Grandell J. Simple approximations of ruin probabilities / J. Grandell // Insurance: Mathematics and Economics. – 2000. – № 26 (2–3). – P. 157–173.
11. Beekman J. A. A series for infinite time ruin probabilities / J. A. Beekman // Insurance: Mathematics and Economics. – 1985. – № 4 (2). – P. 129–134.

References

1. Mikosch, T. (2009). *Non-life insurance mathematics: an introduction with the Poisson process*. Springer Science & Business Media [in English].
2. Panjer, H. H. & Willmot, G. E. (1992). *Insurance risk models*. Society of Actuaries [in English].
3. Thorin, O. (1973). The ruin problem in case the tail of the claim distribution is completely monotone. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2, 100–119 [in English].
4. Constantinescu, C., Samorodnitsky, G. & Zhu, W. (2017). Ruin probabilities in classical risk models with gamma claims. *Scandinavian Actuarial Journal*. *tandfonline.com*. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03461238.2017.1402817> [in English].
5. Asmussen, S. (2010). *Ruin probabilities*. Singapore: World Scientific [in English].
6. Grandell, J. (1991). *Aspects of risk theory*. New York: Springer-Verlag [in English].
7. Burnecki, K., Mišta, P. & Weron, A. (2005). Ruin probabilities in finite and infinite time. *Statistical tools for finance and insurance* (pp. 341–379). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag [in English].
8. Burnecki, K., Mišta, P. & Weron, A. (2005). What is the best approximation of ruin probability in infinite time? *Applicationes Mathematicae*, 32 (2), 155–176 [in English].
9. De Vylder, F. (1978). A practical solution to the problem of ultimate ruin probability. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2, 114–119 [in English].
10. Grandell, J. (2000). Simple approximations of ruin probabilities. *Insurance: Mathematics and Economics*, 26 (2–3), 157–173 [in English].
11. Beekman, J. A. (1985). A series for infinite time ruin probabilities. *Insurance: Mathematics and Economics*, 4 (2), 129–134 [in English].

UDC 51-75, 519.21

Andrii Ilienکو, Ludmyla Runovska

A NUMERICAL ALGORITHM FOR FINDING THE RUIN PROBABILITY IN THE CRAMÉR-LUNDBERG MODEL

Urgency of the research. Recently, there has been a rapid increase in interest in computer techniques of forecasting in the insurance business. Such forecasting can be used, in particular, to determine the pricing policy of insurance companies.

Target setting. Currently, there arises the need to develop simple and precise numerical algorithms for estimating the probability of ruin, which can be effectively implemented by computer software.

Actual scientific researches and issues analysis. At the moment, an extensive toolkit of numerical methods for evaluating various characteristics of insurance risk processes (ruin probabilities in the finite and infinite time horizons, expectation and variance of the time of ruin, etc.) has been accumulated.

Uninvestigated parts of general matters defining. Existing techniques are either too complicated to implement, or demonstrate an insufficient accuracy of estimation.

The research objective. The development of a numerical algorithm which refines the classical de Vylder approximation for estimating the ruin probability on the infinite time horizon in the Cramér-Lundberg insurance risk model, as well as the study of the accuracy of this algorithm based on Beekman's formula.

The statement of basic materials. In the article, we develop a new method for approximate determination of the probability of degeneration of the Cramér-Lundberg insurance risk process on the infinite time horizon. This method refines the approximation proposed by F. de Vylder, by replacing the reference exponential distribution of insurance payments by a mixture of two exponential ones. Computer simulation shows a much higher accuracy of the proposed algorithm compared with the de Vylder's approach.

Conclusions. The proposed algorithm allows to estimate the ruin probability of an insurance company in the Cramér-Lundberg model. The method is based on replacing the insurance risk process with another risk process, for which insurance

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

payments are distributed according to the law, which is a mixture of two exponential distributions. The advantages of the developed method include its much higher accuracy in comparison with the de Vylder approximation. The features of the method are the higher complexity of implementation due to the need for an approximate solution of a system of nonlinear equations, and also that this system has suitable solutions not for any distribution of insurance payments.

Keywords: Cramér-Lundberg insurance risk model; insurance risk process; ruin probability; de Vylder approximation; accuracy of approximation.

Table: 6. Fig.: 1. References: 11.

Ільєнко Андрій Борисович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Ilienکو Andrii – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematical Analysis and Probability Theory, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Peremohy prosp., 37, Kyiv, 03056, Ukraine).

E-mail: ilienko@matan.kpi.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4828-0788>

ResearcherID: J-1266-2017

Scopus Author ID: 56158332600

Руновська Людмила Анатоліївна – старший викладач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Runovska Ludmyla – Senior Lecturer of the Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (Shevchenko Str., 95, Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: ludmila2211@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6075-2552>

УДК 519.233.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-114-122

Станіслав Радченко, Сергій Лапач

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ

Актуальність теми дослідження. Завдяки високим міцнісним характеристикам і стійкості до агресивних середовищ полівінілхлоридні труби знаходять широке застосування в промисловому будівництві. При спорудженні трубопроводів виникає багато технічних проблем при визначенні оптимальних режимів зварювання труб.

Постановка проблеми. Використання статистичного моделювання дає змогу встановити причинні, структурні й кількісні зв'язки між групою керованих факторів і модельованими критеріями досліджуваних процесів і істотно підвищити ефективність вибору технологічних режимів контактного зварювання труб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі дослідження і вдосконалення складних систем і процесів доцільно використовувати побудову багатофакторних регресійних моделей.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Необхідним є системний підхід до отримання регресійних моделей: процес повинен включати побудову плану експерименту, формалізований вибір структури моделі, стійке оцінювання коефіцієнтів моделі.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є використання методики регресійного аналізу для дослідження й побудови високоточних статистичних моделей характеристик процесу контактного зварювання полівінілхлоридних труб.

Виклад основного матеріалу. Дослідження було проведено за планом повного факторного експерименту $3^3//27$, що дозволило отримати оцінки коефіцієнтів регресії незалежні (у статистичному сенсі) один від одного. Використання результатів дослідження дозволило побудувати адекватні, інформативні, стійкі моделі межі міцності на розтяг зварного шва, ступеня деструкції матеріалу зварного шва й коефіцієнта зварювання залежно від факторів, що впливають: температури нагрівника, часу оплавлення зварюваних торців, питомого тиску осадки.

Висновки відповідно до статті. З урахуванням побудованих статистичних моделей проведено аналіз впливу умов зварювання на характеристики якості зварного шва. Результати експерименту підтвердили доцільність запропонованого підходу і використаних методів моделювання.

Ключові слова: регресійний аналіз; статистичне моделювання; план експерименту; структура моделі; контактне зварювання.

Табл.: 2. Рис.: 1. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. Завдяки високим характеристикам міцності та стійкості до агресивних середовищ полівінілхлоридні труби знаходять широке застосування в промисловому будівництві. При спорудженні трубопроводів виникає багато технічних проблем при визначенні оптимальних режимів зварювання труб, пов'язаних із багатофакторною залежністю показників якості зварювання від технологічних факторів і зовнішніх умов зварювання.

Постановка проблеми. Завдяки високим характеристикам міцності та стійкості до агресивного середовища труби з полівінілхлориду широко застосовуються в промисловому будівництві. При з'єднанні окремих ділянок труб між собою з використанням контактного зварювання виникає багато проблем, викликаних необхідністю вибору технологічних умов зварювання, які мають забезпечити високу вихідну якість з'єднань і їх довговічність при наступній експлуатації. Важливими показниками якості зварного шву є межа міцності на розрив σ_b і відсутність перепаленого матеріалу у шві. Саме цим показникам приділяється основна увага під час дослідження й оптимізації режимів зварювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки на показники якості шва впливає велика кількість факторів – керованих, некерованих, контрольованих – вибір оптимальних технологічних умов зварювання є складним завданням. Незважаючи на те, що використання планування експериментів для дослідження й оптимізації процесів зварювання почалося досить давно [1], практично в усіх роботах у цій галузі продовжують використовувати однофакторний експеримент, тоді як задачі такого класу вимагають застосування багатофакторного моделювання технологічних процесів [2–7]. Розроблена методологія регресійного аналізу враховує основні властивості й особливості технологічних процесів і систем та дає змогу будувати моделі з найкращими можливими властивостями.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Планування експериментів є складовою частиною загального планування дослідження й одночасно частиною вибіркового методу [8–10]. Суть його у формуванні набору експериментальних умов, які забезпечують багатофакторні регресійні моделі з найкращими критеріями якості при обмеженні на використовувані ресурси. Нині найкращими для використання в промислових умовах є робастні плани, які ґрунтуються на багатофакторних регулярних планах або на ЛП_т рівномірно розподілених послідовностях. Такі плани стійкі (робастні) щодо вибору структури (конкретної специфікації) моделі й відповідають або близькі критеріям D -, A -, E -, G -, Q -оптимальності.

Повний факторний експеримент містить усі можливі комбінації факторів по вибраній кількості рівнів варіювання кожного фактора. Для повного факторного експерименту кількість можливих структурних ефектів (елементів) моделі дорівнює кількості дослідів плану експерименту $N_{\text{п}}$. Отримана статистична модель буде адекватна результатам експерименту, оскільки множина структурних елементів необхідна й достатня для опису результатів дослідів. Усі ефекти повного факторного експерименту ортогональні один одному [8, с. 26–29], що забезпечує структурну й обчислювальну стійкість побудованої регресійної моделі.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. До побудови регресійних моделей необхідно підходити системно: процес повинен охоплювати побудову плану експерименту, формалізоване формування структури моделі, стійке оцінювання моделі. Якщо кількість дослідів повного факторного експерименту занадто велике і його реалізація неможлива з огляду на ресурсні обмеження, то використовують багатофакторні регулярні плани і плани на основі ЛП_т рівномірно розподілених послідовностей, властивості яких найбільш близькі повному факторному експерименту. Для формування чи вибору плану експерименту необхідна інформація про кількість факторів, які впливають на показники якості системи чи процесу факторів і складності індивідуального впливу, тобто степені поліному, достатньої для адекватного опису.

Використання системного підходу побудови регресійних дозволяє оптимально вирішувати складні прикладні задачі [2; 7; 11; 12].

Мета статті. Метою роботи є застосування методології багатофакторного регресійного аналізу для дослідження і побудови високоточних статистичних моделей характеристик процесу контактного зварювання полівінілхлоридних труб.

Викладення основного матеріалу. Для апроксимації вихідних даних будемо використовувати клас поліноміальних математичних моделей лінійних за параметрами і нелінійних за факторами. Їх використання обґрунтоване теоремами Вейерштрасса, Стоуна, Джексона [2, с. 87–88]. Вважається, що структура регресійної моделі апіорі досліднику не відома (на відміну від класичної теорії планування експериментів). Елементи структури регресійної статистичної моделі вибираються з множини структурних елементів схеми повного факторного експерименту

$$\prod_{i=1}^k (1 + x_i^{(1)} + x_i^{(2)} + \dots + x_i^{(s_i-1)}) \rightarrow N_{\text{п}},$$

де 1 – значення фіктивного фактора $x_0 \equiv 1$;

$x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(s_i-1)}$ – ортогональні контрасти факторів X_i ;

s_i – кількість різних рівнів фактора X_i ;

k – загальна кількість факторів, $1 \leq i \leq k$;

(1), (2), ..., (s_i – 1) – степені контрастів фактора X_i ;

$N_{\text{п}}$ – кількість структурних елементів повного факторного експерименту.

Для формування структури моделі використовується алгоритм RASTA3 [2, с. 188–189].

Стійкість структурних елементів досягається за рахунок представлення головних ефектів і взаємодій як систему ортогональних контрастів, яка еквівалентна системі ортогональних поліномів Чебишева [2, с. 61–63]. Ортогональні контрасти необхідно нормувати.

Ортогональна структура багатofакторної статистичної моделі дозволяє отримати статистично незалежні оцінки коефіцієнтів модельованої функції. Така структура може бути однозначно визначена зі статистично значущими коефіцієнтами. Нормування ортогональних контрастів забезпечує обчислювальну стійкість коефіцієнтів моделі. Таким чином, задача буде коректно поставленою.

Побудовані регресійні статистичні моделі перевіряють на адекватність, інформативність, стійкість та інші критерії якості моделі [2, с. 67–80]. На підставі отриманих результатів перевірки приймається рішення про можливість і межі застосування моделі.

Досліджувався технологічний процес контактної труби із ПВХ-100 для визначення умов створення високоякісного зварного шва. Труби з ПВХ-100 мають високу міцність і теплостійкість, відзначаються значної хімічної стійкістю, високими діелектричними показниками. Характеристики міцності зварного шва повинні бути не нижче аналогічних характеристик основного матеріалу. Ці характеристики шву пов'язані з характером течій оплавленого матеріалу всередині шва. Стікання шарів матеріалу один відносно іншого призводить до появи залишкових напружень, які діють у площині, перпендикулярній основному навантаженню. Поява в зоні такого шва дефектів (від перегрітого матеріалу, пор, не проварювання тощо) значно послаблює з'єднання, у зв'язку з чим необхідні підвищені вимоги до точності підтримання режиму зварювання.

Оцінювання якості зразків зварювання виконувалась за такими показниками:

y_1 – межа міцності на розтягнення, σ_b , МПа;

y_2 – оцінка ступеня деструкції матеріалу зварного шва, Д, бали;

y_3 – коефіцієнт зварювання, К.

Ступінь деструкції матеріалу шва оцінювалась за кольором зламу зварного шва – у балах від 1 до 5; 1 – ясно видима деструкція, 5 – колір відповідає кольору основного матеріалу. Коефіцієнт зварювання К обчислюється як відношення значення межі міцності на розтяг σ_b зварного шва до межі плинності основного матеріалу труби σ_T , отриманого при випробуванні зразків.

Факторами, які впливають на якість зварного шва були вибрані:

X_1 – температура інструмента, T_n , °С;

X_2 – час оплавлення зварюваних торців труб, t_{on} , с;

X_3 – питомий тиск осаджування труб, P_{oc} , МПа.

На початковому етапі проведення дослідження були виконані допоміжні серії випробувань зварних швів труб для попереднього визначення зони оптимум режимів зварювання. За результатами цих дослідів були вибрані діапазони варіювання факторів і кількість рівнів варіювання.

Було прийняте рішення використовувати план повного факторного експерименту $3^3//27$: три фактора, кожен із яких змінюється на трьох рівнях, усього 27 дослідів. Кожен рівень кожного фактора сполучається з будь-яким із рівнів іншого фактора один раз. Виконання експериментів за цим планом дозволяє отримати оцінки коефіцієнтів регресії статистично незалежні одне від одного.

Робоча матриця дослідження технологічного процесу значення рівнів факторів і результати експериментів наведені в табл. 1. Під час проведення експерименту кожен дослід повторювався двічі. Це необхідно для визначення оцінки дисперсій відтворюваності й виявлення викидів. У табл. 1 наведено середні значення результатів кожного дослідів для $\vec{\sigma}_1$, $\vec{\sigma}_2$, $\vec{\sigma}_3$.

Таблиця 1

Робоча матриця й результати дослідів

Кодовані теоретичні значення рівнів варіювання факторів			Фактори			Функції		
			Натуральне позначення факторів			Натуральне позначення функцій		
			T_H	$t_{оп}$	$P_{ос}$	σ_B	Д	К
			Кодоване позначення факторів і натуральні значення їх рівнів			Кодоване позначення функцій		
F_1	F_2	F_3	X_1	X_2	X_3	y_1	y_2	y_3
0	0	0	210	40	4,2	Середні значення результатів дослідів		
1	1	1	225	80	5,0			
2	2	2	240	120	5,8	\bar{o}_1	\bar{o}_2	\bar{o}_3
Дослід 1			210	40	4,2	218,5	5,0	0,34
2			210	40	5,0	400,0	5,0	0,62
3			210	40	5,8	156,5	5,0	0,25
4			210	80	4,2	611,5	5,0	0,97
5			210	80	5,0	488,5	5,0	0,77
6			210	80	5,8	592,5	5,0	0,92
7			210	120	4,2	638,0	5,0	1,0
8			210	120	5,0	610,5	5,0	0,95
9			210	120	5,8	565,0	5,0	0,88
10			225	40	4,2	641,0	5,0	1,04
11			225	40	5,0	549,5	5,0	0,86
12			225	40	5,8	619,5	5,0	0,97
13			225	80	4,2	599,0	5,0	0,94
14			225	80	5,0	613,5	5,0	0,96
15			225	80	5,8	604,5	5,0	0,95
16			225	120	4,2	657,5	4,5	1,03
17			225	120	5,0	649,5	5,0	1,02
18			225	120	5,8	675,5	5,0	1,07
19			240	40	4,2	580,0	5,0	0,91
20			240	40	5,0	575,0	4,5	0,91
21			240	40	5,8	599,5	5,0	0,94
22			240	80	4,2	641,0	3,5	1,02
23			240	80	5,0	622,5	3,0	0,98
24			240	80	5,8	644,0	3,0	1,02
25			240	120	4,2	649,0	1,0	1,02
26			240	120	5,0	636,0	1,5	0,99
27			240	120	5,8	656,0	2,0	1,03

Математичні моделі оцінюваних характеристик зварювання постулювались як ортогональні поліноми Чебишева. Структура моделі цього повного факторного експерименту має такий вигляд

$$(1 + x_1^{(1)} + x_1^{(2)})(1 + x_2^{(1)} + x_2^{(2)})(1 + x_3^{(1)} + x_3^{(2)}),$$

де $x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}$ – лінійні ортогональні контрасти факторів X_1, X_2, X_3 ;

$x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, x_3^{(2)}$ – квадратичні ортогональні контрасти факторів X_1, X_2, X_3 ;

Побудова статистичних моделей межі міцності на розтяг \hat{y}_1 , ступеню деструкції матеріалу зварного шва \hat{y}_2 , коефіцієнта зварювання \hat{y}_3 і всіх статистичних характеристик якості моделі було виконано з використанням програмного засобу ПРІАМ [2, с. 84–85].

Отримані математичні моделі мають такий вигляд:

$$\hat{y}_1 = 573,859 + 77,6444 x_2^{(1)} + 73,4694 x_1^{(1)} - 70,9958 x_1^{(1)} x_2^{(1)} - 49,4241 x_1^{(2)} + 48,8861 x_1^{(2)} x_2^{(1)} - 45,7018 x_1^{(2)} x_2^{(2)} + 37,5528 x_1^{(1)} x_2^{(2)} + 48,9694 x_1^{(1)} x_2^{(2)} x_3^{(2)} - 28,0852 x_2^{(2)} - 51,7574 x_1^{(2)} x_2^{(2)} x_3^{(2)} - 33,6208 x_1^{(1)} x_2^{(1)} x_3^{(2)} + 36,9694 x_1^{(2)} x_2^{(1)} x_3^{(2)} - 24,8074 x_2^{(2)} x_3^{(2)} + 15,2875 x_1^{(1)} x_3^{(1)} + 17,6361 x_1^{(1)} x_3^{(2)} + 15,7278 x_2^{(1)} x_3^{(2)} - 16,9796 x_1^{(2)} x_3^{(2)} - 3,40278 x_3^{(1)} + 4,91251 x_1^{(1)} x_2^{(2)} x_3^{(1)} - 3,56944 x_1^{(2)} x_3^{(1)} - 4,27083 x_1^{(2)} x_2^{(1)} x_3^{(1)};$$

$$\hat{y}_2 = 4,36481 - 0,925 x_1^{(1)} - 0,833333 x_1^{(1)} x_2^{(1)} - 0,583056 x_2^{(1)} - 0,57963 x_1^{(2)} - 0,500556 x_1^{(2)} x_2^{(1)} + 0,19125 x_1^{(1)} x_2^{(2)} x_3^{(1)} + 0,155278 x_2^{(2)} x_3^{(1)} + 0,124583 x_2^{(1)} x_3^{(1)} + 0,124375 x_1^{(1)} x_2^{(1)} x_3^{(1)};$$

$$\hat{y}_3 = 0,902037 + 0,119167 x_2^{(1)} + 0,117778 x_1^{(1)} - 0,112083 x_1^{(1)} x_2^{(1)} - 0,0807407 x_1^{(2)} + 0,0775 x_1^{(2)} x_2^{(1)} - 0,0768518 x_1^{(2)} x_2^{(2)} + 0,0569444 x_1^{(1)} x_2^{(2)} - 0,0457407 x_2^{(2)} - 0,0840741 x_1^{(2)} x_2^{(2)} x_3^{(2)} + 0,0727778 x_1^{(1)} x_2^{(2)} x_3^{(2)} + 0,0633333 x_1^{(2)} x_2^{(1)} x_3^{(2)} - 0,0483333 x_1^{(1)} x_2^{(1)} x_3^{(2)} - 0,037963 x_2^{(2)} x_3^{(2)} + 0,02625 x_1^{(1)} x_3^{(1)} + 0,0286111 x_1^{(1)} x_3^{(2)} - 0,0146296 x_1^{(2)} x_3^{(2)} + 0,0125 x_2^{(1)} x_3^{(2)} - 0,00694444 x_3^{(1)} - 0,0116667 x_1^{(2)} x_2^{(1)} x_3^{(1)},$$

де

$$x_1^{(1)} = x_1 = 0,666667(X_1 - 225);$$

$$x_3^{(1)} = x_3 = 1,25(X_3 - 5);$$

$$x_1^{(2)} = 3(x_1^2 - 0,6666667);$$

$$x_3^{(2)} = 3(x_3^2 - 0,6666667).$$

$$x_2^{(1)} = x_2 = 0,025(X_2 - 80);$$

$$x_2^{(2)} = 3(x_2^2 - 0,6666667);$$

У формулах ортогональних контрастів до моделей $\hat{y}_1 \dots \hat{y}_3$ ортогональні контрасти не нормовані. При використанні програмного засобу ПРІАМ коефіцієнти нормування ортогональних контрастів вводяться у відповідні коефіцієнти математичної моделі й автоматично враховуються під час проведення обчислювального експерименту [2, с. 56].

Характеристики статистичного аналізу побудованих моделей із відповідними висновками наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати статистичного аналізу математичних моделей

Параметри статистичного аналізу показників		Умовні позначення	Значення для моделі		
			\hat{y}_1	\hat{y}_2	\hat{y}_3
1	2	3	4	5	6
Перевірка гіпотези про відтворюваність результатів експерименту	Дисперсія відтворюваності	$s_{\text{відт}}^2$	49,0437	0,009878	0,0003611
	Середньоквадратичне відхилення	$s_{\text{відт}}$	7,00312	0,099387	0,019003
	Число степенів свободи для дисперсії відтворюваності	$f_{\text{відт1}}$	27	27	27
		$f_{\text{відт2}}$	1	1	1
	Експериментальне значення G-критерію	$G_{\text{експ}}$	0,186093	0,362955	0,184616
	Критичне значення G-критерію	$G_{\text{крит}}$	0,315952	0,315952	0,315952
Рівень значущості		α	0,05		
Значення критерію Стюдента ($\alpha=0,05; f_{\text{відт}} = 27$)		$t_{\text{крит}}$	2,05	2,05	2,05

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6
Перевірка гіпотези про адекватність моделі	Дисперсія адекватності	$S_{ад}^2$	17,3394	0,004947	0,0001275
	Експериментальне значення F -критерію	$F^{експ}$	2,82915	1,99661	2,83115
	Критичне значення F -критерію	$F^{крит}$	4,50974	2,16659	3,39131
	Число степенів свободи для адекватності	$f_{ад1}$	21	9	19
		$f_{ад2}$	5	17	7
	Рівень значущості	α	0,05		
Адекватність моделі		Адекватна			
Аналіз отриманої моделі на інформативність	Коефіцієнт множинної кореляції	R	0,999893	0,998877	0,999556
	Число степенів свободи для коефіцієнтів моделі	$f_{k'}$	21	9	19
	Число степенів свободи для залишкової суми квадратів	$f_{оалR}$	32	44	34
	Експериментальне значення F -критерію	$F^{експ}$	1113,23	839,772	414,738
	Критичне значення F -критерію	$F^{крит}$	1,89571	2,10087	1,90151
	Рівень значущості	α	0,05		
	Критерій Бокса і Веца	γ	15	17	10
	Інформативність моделі		Дуже висока		
Число обумовленості		$cond(X^T X)$	1	1	1
Середнє абсолютних величин відносних похибок апроксимації		$ \bar{e}_{відн} , \%$	0,317663	0,953073	0,684601
Середнє абсолютних величин абсолютних похибок апроксимації		$ \bar{e}_u $	1,53069	0,0388271	0,0048731
Частка розсіяння, яка пояснюється моделлю		$Q_{\hat{y}}$	0,999786	0,997756	0,999112

Розглянуті моделі адекватні, інформативні, структурно й обчислювально стійкі: коефіцієнт множинної кореляції дуже близький до 1 і статистично значущий. Моделі пояснюють більш ніж 99 % розсіяння результатів дослідів. Для всіх моделей середня похибка апроксимації менше 1 %. Неоднорідність дисперсій \hat{y}_2 викликана тим, що розподіл похибка в таких умовах відрізняється від нормального.

Аналіз поведінки функції \hat{y}_1 можна виконати за графіком поверхні відгуку (рис.).

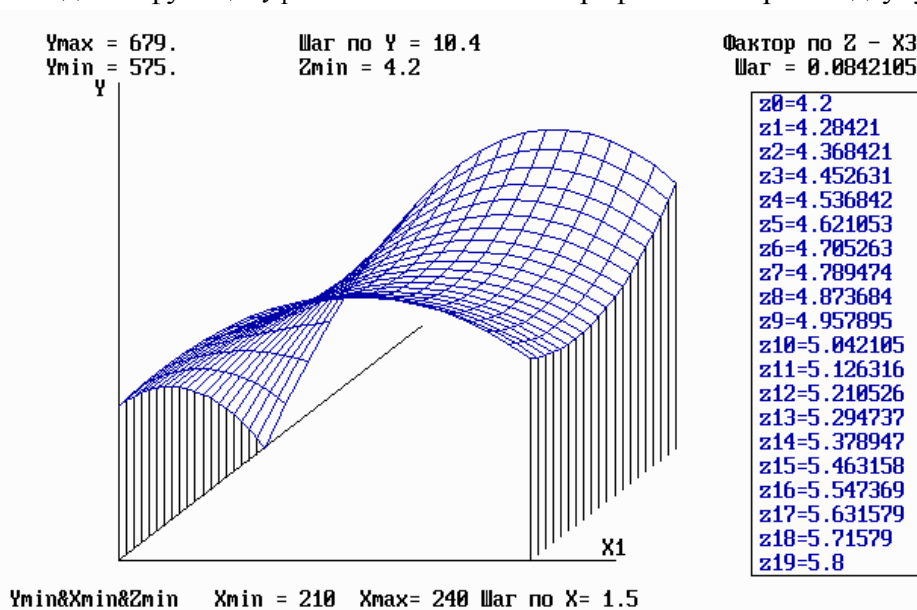


Рис. Маргінальна поверхня відгуку \hat{y}_1 для факторів X_1 і X_3 при $X_2 = 120$

Моделі залежності характеристик процесу зварювання – межі міцності на розтяг зварного шва, ступеня деструкції матеріалу зварного шва, коефіцієнта зварювання – від технологічних умов зварювання – температури нагрівача, часу оплавлення зварюваних торців, питомого тиску осаджування труб – відображають фізичну суть процесу зварювання в інтервалах варіювання досліджуваних факторів.

З урахуванням побудованих статистичних моделей проведений аналіз впливу умов зварювання на якість зварюваного шва й отримана інформація використана для визначення оптимальних умов проведення технологічного процесу.

З розробленими методами моделювання й отриманими результатами можна ознайомитись у [13].

Висновки відповідно до статті.

1. Методологія регресійного аналізу дозволяє отримувати багатфакторні статистичні моделі з найкращими можливими статистичними характеристиками. Побудова моделей вимагає системної організації експерименту у вигляді плану експерименту, структури моделі, елементів структури моделі.

2. Для отримання найкращих статистичних характеристик властивостей моделі необхідно забезпечити ортогональність структури моделі, структурних елементів моделі, використовувати ортогональні контрасти й нормування ефектів.

3. Використання результатів повного факторного експерименту під час проведення досліджень дозволило побудувати адекватні, інформативні та стійкі моделі межі міцності на розтяг зварного шва \hat{y}_2 і коефіцієнта зварювання \hat{y}_3 залежно від факторів впливу: температури нагрівача, часу оплавлення зварюваних торців, питомого тиску осаджування.

4. Результати використання концепції регресійного аналізу в процесі моделювання складного технологічного процесу контактного зварювання полівінілхлоридних труб підтвердило її працездатність і ефективність. Використовуючи побудовані статистичні моделі проведений аналіз впливу факторів на характеристики якості зварного шва і проведена оптимізація технологічного процесу.

Список використаних джерел

1. *Оптимизация* технологических условий сварки полиэтиленовых труб / С. Г. Радченко, Ю. С. Бурбело, Э. В. Котенко, С. Н. Лапач, Ю. А. Сидоренко, В. С. Лищинский // Пластические массы. – 1988. – № 9. – С. 29–31.
2. *Радченко С. Г.* Методология регрессионного анализа / С. Г. Радченко. – К. : Корнійчук, 2011. – 376 с.
3. *Радченко С. Г.* Анализ методов моделирования сложных систем / С. Г. Радченко // Математичні машини і системи. – 2015. – № 4. – С. 123–127.
4. *Дрейпер Н.* Прикладной регрессионный анализ : пер. с англ. / Норман Р. Дрейпер, Гарри Смит. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2007. – 912 с.
5. *Лапач С. М.* Проблеми побудови регресійних моделей процесів різання металів / С. М. Лапач // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2014. – № 3(72). – С. 40–47.
6. *Радченко С. Г.* Формализованные и эвристические решения в регрессионном анализе / Радченко С. Г. – К. : Корнійчук, 2015. – 236 с.
7. *Радченко С. Г.* Корректное статистическое моделирование в условиях неполной исходной информации / Радченко С. Г. // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2017. – № 4. – С. 49–56.
8. *Бродский В. З.* Введение в факторное планирование эксперимента / В. З. Бродский. – М. : Наука, 1976. – 224 с.
9. *Лапач С. Н.* Робастные планы эксперимента // Математичні машини і системи. – 2016. – № 4. – С. 111–121.
10. *Кобзарь А. И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
11. *Modeling of salad plants growth and physiological status in vitamin space greenhouse during lighting regime optimization* / [Konovalova I., Berkovich Yu. A., Erokhin A., etc.] // 41th COSPAR Scientific Assembly; Istanbul, Turkey, 2016. – P. 278.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

12. *Оптимизация* светодиодной системы освещения витаминной космической оранжереи / [Коновалова И. О., Беркович Ю. А., Ерохин А. Н. и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 17–22.

13. *Лаборатория* экспериментально-статистических методов исследований (ЛЭСМИ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.n-t.org/sp/lesmi>.

References

1. Radchenko, S. G., Burbelo, Iu. S., Kotenko, E. B., Lapach, S. N., ets. (1988). Optimizatsiia tekhnologicheskikh uslovii svarki polietilenovykh trub [Optimization of technological conditions for welding polyethylene pipes]. *Plasticheskie massy – Plastic masses*, 9, 29–31 [in Russian].

2. Radchenko, S.G. (2011). *Metodologiya regressiionnogo analiza [Methodology of regression analysis]*. Kyiv: Korniiichuk [in Russian].

3. Radchenko, S. G. (2015). Analiz metodov modelirovaniia slozhnykh sistem [Analysis of methods of the model of complex systems]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, 4, 123–127 [in Russian].

4. Drejper, N. R. and Smit, H. (2007). *Prikladnoi regressiionnyi analiz [Applied regression analysis]* (3rd ed.). Moscow: Wiliams [in Russian].

5. Lapach, S. N. (2014). Problemy pobudovy regresiynykh modeley protsesiv rizannya metaliv [Problems of constructing regression models of metal cutting processes]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*. Seriya «Mashynobuduvannia» – *Bulletin of the National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute. Series «Mechanical Engineering»*, 3 (72), 40–47 [in Ukrainian].

6. Radchenko, S. G. (2015). *Formalizovannye i evristicheskie resheniya v regressiionnom analize [Formalized and heuristic solutions in regression analysis]*. Kyiv: Korniiichuk [in Russian].

7. Radchenko, S.G. (2017). Korrektное statisticheskoe modelirovanie v usloviakh nepolnoi iskhodnoi informatsii [Correct statistical modeling in conditions of incomplete source information]. *Radioelektronika, informatika, upravlenie – Radio electronics, computer science, management*, 4, 49–56 [in Russian].

8. Brodsky, V.Z. (1976). *Vvedenie v faktornoe planirovanie eksperimeta [Introduction to the factor design of the experiment]*. Moscow: Nauka [in Russian].

9. Lapach, S N. (2016). Robastnye plany eksperimeta [Robust experiment plans]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, 4, 111–121 [in Russian].

10. Kobzar, A. I. (2006). *Prikladnaia matematicheskaia statistika. Dlia inzhenerov i nauchnykh rabotnikov [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]*. Moscow: FIZMATLIT [in Russian].

11. Konovalova I., Berkovich Iu. A., Erokhin A., ets. (2016). Modeling of salad plants growth and physiological status in vitamin space greenhouse during lighting regime optimization // 41th COSPAR Scientific Assembly; Istanbul, Turkey.

12. Konovalova, I. O., Berkovich, Iu. A., Erokhin, A. N., ets. (2016). Optimizatsiia svetodiodnoi systemy osveshcheniia vitaminnoi kosmicheskoi oranzherei [Optimization of the LED lighting system vitamins space greenhouse]. *Aviakosmicheskaiia i ekologicheskaiia meditsina – Aerospace and Environmental Medicine*, 50 (3), 17–22 [in Russian].

13. Laboratoriya eksperimentalno-statisticheskikh metodov issledovaniy (LESMI) [Laboratory of experimental-statistical methods of research]. Retrieved from <http://www.n-t.org/sp/lesmi>.

UDC 519.233.5

Stanislav Radchenko, Serhei Lapach

RESEARCH AND MODELING OF TECHNOLOGY CONTACT WELDING OF PIPES

Urgency of the research. Due to high strength characteristics and resistance to aggressive media, polyvinyl chloride pipes are widely used in industrial construction. When creating pipelines, a number of technical problems arise in determining the optimum welding conditions for pipes.

Target setting. The use of statistical modeling makes it possible to establish causal, structural and quantitative relationships between a group of controlled factors and the simulated criteria of the processes being studied and to substantially increase the efficiency of the choice of technological regimes for contact welding of pipes.

Actual scientific researches and issues analysis. When investigating and improving complex systems and processes, it is advisable to use the construction of multifactorial regression models.

Uninvestigated parts of general matters defining. A systematic approach to obtaining regression models is necessary: the process should include the construction of an experiment plan, a formalized choice of the structure of the model, a stable estimation of the coefficients of the model.

The research objective. The purpose of this work is to use the regression analysis technique to study and build high-precision statistical models of the characteristics of the process of welding PVC pipes.

The statement of basic materials. The study was carried out according to the plan of the full factorial experiment $3^3/27$, which made it possible to obtain estimates of the regression coefficients independent (in the statistical sense) from each other. Using the results of the research, it was possible to construct adequate, informative, stable models of the tensile strength of the welded joint, the degree of destruction of the welded material, and the welding coefficient, depending on the influencing factors.

Conclusions. Taking into account the constructed statistical models, the influence of welding conditions on the weld quality characteristics is analyzed. The results of the experiment confirmed the expediency of the proposed approach and the modeling methods used.

Keywords: regression analysis; statistical modeling; experimental design; model structure; contact welding.

Table: 2. Fig.:1. References: 13.

Радченко Станіслав Григорович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технології машинобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Radchenko Stanislav – Doctor of Technical Science, Assistant Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering, I. Sikorsky National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» (37 Pobeda Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: teor292@gmail.com

Лапач Сергій Миколайович – старший викладач кафедри технології машинобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Lapach Serhei – Senior Lecturer of the chair of technology of mechanical engineering, I. Sikorsky National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» (37 Pobeda Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: lapach@ukr.net

Олег Новомлинець, Сергій Олексієнко, Світлана Ющенко,
Олексій Байдала, Євген Половецький

ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ЧЕРЕЗ МОДИФІКОВАНІ ПОВЕРХНЕВІ ШАРИ

Актуальність теми дослідження. У процесі виробництва та використання виробів складної конфігурації з однорідних та різнорідних матеріалів необхідним завданням є збереження їх проектної форми та забезпечення високих експлуатаційних характеристик, що потребує використання нових технологій прецизійного зварювання тиском.

Постановка проблеми. Виготовлення прецизійних деталей та вузлів зварюванням тиском ускладнене наявністю оксидних та адсорбованих плівок і необхідністю активації поверхонь, що зварюються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Раніше нами було встановлено критерії досягнення ефекту прецизійності при зварюванні тиском.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Отримання прецизійних з'єднань зварюванням тиском із використанням проміжних шарів, модифікованих електроіскровим легуванням.

Мета роботи. Дослідження здатності до зварювання тиском з обмеженим рівнем деформації металевих матеріалів із попередньою модифікацією поверхневих шарів шляхом електроіскрової обробки.

Виклад основного матеріалу. Для модифікації поверхонь алюмінієвих сплавів АД00 та Д1 перед зварюванням використовуються матеріали з високим питомим електричним опором та матеріали, з якими алюміній утворює рідку фазу евтектичного складу при температурі менше температури плавлення алюмінію: титан, цинк, хром, марганець, магній, вуглець, галій, кремній та залізо, у вигляді порошку та прутків. Міцність та деформація зварних з'єднань залежить від електричного опору матеріалу модифікованого шару і, як наслідок, від сили струму обробки.

Висновки відповідно до статті. Розроблено методику підготовки поверхонь металів до зварювання шляхом механічного шабрування та модифікації електроіскровою обробкою; електроіскрове легування поверхонь, що зварюються, матеріалом із високим електричним опором локалізує теплову енергію у стику; використання порошкового прошарку з матеріалу з високим електричним опором дозволяє зменшити рівень залишкової деформації.

Ключові слова: зварювання тиском; модифікація поверхонь; електроіскрова обробка; локалізація енергії в стику; прецизійні з'єднання.

Рис.: 7. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. Розвиток сучасної науки й техніки потребує застосування нових конструкційних матеріалів, які володіють високими механічними та спеціальними властивостями, а також використання виробів складної конфігурації з однорідних та різнорідних матеріалів (метали, неметалеві матеріали, інтерметаліди, наноматеріали та ін.), що потребує використання нових технологій прецизійного зварювання тиском [1]. Найбільш поширеним способом зварювання тиском є електроконтактне зварювання, за якого деформація в стику досягає 20 % товщини деталі, а це призводить до зменшення міцності зварного з'єднання [2]. На нашу думку, застосування модифікації поверхневих шарів електроіскровою обробкою повинно дати можливість для вирішення проблеми прецизійного електроконтактного зварювання матеріалів.

Постановка проблеми. При всіх способах зварювання без розплавлення з'єднання утворюються в результаті деформаційного впливу на матеріали, що з'єднуються. Відповідно до ГОСТ 2601-74 зварювання тиском – це зварювання, що відбувається при температурах нижче точки плавлення металів, які зварюються, без застосування припою та з прикладанням тиску, достатнього для створення пластичної деформації частин, що з'єднуються [3].

Основною проблемою створення прецизійних деталей та вузлів, у тому числі і при електроконтактному зварюванні, є наявність оксидних і адсорбованих плівок та необхідність активації поверхонь, що зварюються [4]. При цьому відомо, що вирішальним для активації та утворення нероз'ємних з'єднань при всіх способах зварювання в твердій фазі, є деформаційний вплив на матеріали, що зварюються. Саме тому існуючі способи зниження зварювальних деформацій при електроконтактному зварюванні не дозволяють забезпечити прецизійне з'єднання без зменшення рівня активації поверхонь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що технічно і технологічно ефекту прецизійності при зварюванні тиском можна досягти шляхом використання додаткових засобів активації поверхонь, які дозволяють перетворити приповерхневий шар матеріалів, що зварюються, у пластичний, активований стан або рідину [5]. У зв'язку з цим при електроконтактному зварюванні активація поверхонь, що зварюються, можлива за рахунок внесення у стик проміжних прошарків евтектичного складу або попередньої обробки поверхонь шляхом електроіскрового легування перед зварюванням [6; 7].

Спосіб електроіскрового легування (ЕІЛ) металів, розроблений Б. Р. Лазаренко й Н. І. Лазаренко, заснований на явищі електричної ерозії матеріалів при іскровому розряді в газовому середовищі, полярного перенесення продуктів ерозії на катод (деталь), на поверхні якого формується шар зміненої структури та складу. У результаті електричного пробію міжелектродного проміжку виникає іскровий розряд, в якому потік електронів призводить до локального розігріву електрода (анода). На поверхні катода під дією значних теплових навантажень відбуваються мікрометалургійні й супутні їм процеси (термомеханічні, гідродинамічні, дифузійні), які здійснюють перемішування матеріалу катода й анода, при взаємодії з компонентами газового середовища, що сприяє утворенню високої адгезії між основою і формованим шаром. Тому електроіскрове легування слід вважати методом створення нових композиційних матеріалів [8].

Поверхневий шар деталі зміцнюється не тільки за рахунок осадження матеріалу анода, але й у результаті взаємодії цього матеріалу з основою й утворення твердих розчинів, хімічних з'єднань, оксидів, нітридів.

ЕІЛ дає змогу одержувати міцно зчеплені з матеріалом основи покриття з високими експлуатаційними характеристиками. Глибина нанесеного шару залежить від потужності режиму нанесення [9].

Порівняно з іншими методами нанесення покриття ЕІЛ має такі переваги:

- висока міцність зчеплення нанесеного матеріалу з матеріалом основи (за рахунок механічного перемішування і взаємного дифузійного проникнення легувальних матеріалів у шар, що формується);
- деталь не нагрівається (зазвичай не більше 300 °С) у процесі легування, що не приводить до зміни її фізико-механічних властивостей і геометрії;
- енергоємність процесу в 100 разів менша, ніж плазмового напилювання;
- можливість місцевого зміцнення окремих ділянок деталі;
- споживана потужність установок становить 0,5-3,5 кВт;
- екологічно чистий, сухий і простий технологічний процес;
- малогабаритне і транспортабельне устаткування;
- фінішна обробка покриттів дискретної структури методами поверхнево-пластичного деформування без зняття стружки;
- оброблювані поверхні не потребують попередньої підготовки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У наявних публікаціях відсутня інформація щодо можливості отримання прецизійних з'єднань зварюванням тиском із використанням проміжних шарів, які модифіковані електроіскровим легуванням.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження здатності до прецизійного електроконтактного зварювання металевих матеріалів із модифікацією поверхневих шарів шляхом електроіскрової обробки.

Виклад основного матеріалу. Зварювання алюмінію та його сплавів через шари, модифіковані електроіскровою обробкою, проводилося на машині для контактного точкового зварювання загального використання типу МТ-1216. Для зварювання використовували сплави алюмінію АД00 та Д1 у вигляді пластин розміром 2×20×100 мм.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Металографічні дослідження зварних з'єднань проводились на шліфах за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8 і растрового електронного мікроскопа JSM-840, фірми «JEOL» (Японія) при збільшеннях до 5000 разів. Растровий електронний мікроскоп оснащений енергодисперсійним аналізатором LINK 860/500 фірми «LINK» (Англія).

Модифікацію поверхонь при електроконтактному зварюванні алюмінію та його сплавів проводили на установці для електроіскрової обробки, яка була розроблена та виготовлена на основі промислової установки Елітрон-22А, що призначена для електроерозійної обробки робочих поверхонь різального інструменту і штампової оснастки, сріблення контактів і нанесення інших металів.

Якість зварних з'єднань твердих сплавів оцінювали за результатами механічних випробувань на зріз.

Визначення оптимального способу обробки поверхонь перед модифікацією та зварюванням металевих матеріалів. Як відомо, попередня обробка поверхні має вирішальне значення для якості зварних з'єднань, особливо для матеріалів, які мають високу здатність до окислення [10]. Тому завданням цього дослідження є порівняння між собою ефективності очищення, а саме вплив обробки поверхонь на міцність зварного з'єднання.

Для експерименту були взяті заготовки, виготовлені зі сплаву АД00, які піддалися чотирьом різним типам обробки: 1) без обробки поверхонь; 2) механічна обробка шабруванням; 3) травлення у водному розчині ортофосфорної кислоти; 4) механічна обробка з подальшим травленням.

Механічна обробка поверхонь проводилась до появи металевого блиску. Хімічна обробка проходила таким чином: поверхні зразків протиралися спиртом і висушувались; потім їх занурювали у 70-процентний розчин ортофосфорної кислоти на 15-20 хв, після чого зразки промивались і висушувались. Для забезпечення чистоти експерименту заготовки зразків були вирізані з того ж самого листа сплаву, а режим зварювання був однаковий. Результати експерименту показані на рис. 1.

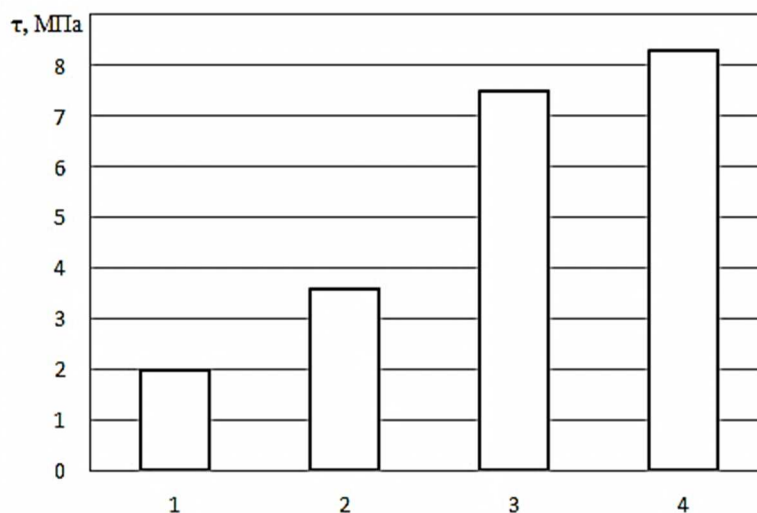


Рис. 1. Гістограма впливу виду обробки на міцність зварного з'єднання для сплаву АД00:

1 – механічна обробка і хімічне травлення; 2 – хімічна обробка;
3 – без обробки; 4 – механічна обробка

Аналіз результатів експерименту вказує на те, що при електроконтактному зварюванні алюмінію та його сплавів найбільш доцільною обробкою поверхонь, що зварюються, є механічна обробка з використанням шабрування.

Для модифікації поверхневих шарів алюмінію в захисному середовищі (аргон) використовували матеріали з високим питомим електричним опором (більшим за питомий електричний опір алюмінію) та матеріали, з якими алюміній утворює рідку фазу евтектичного складу при температурі менше температури плавлення алюмінію: титан, цинк, хром, марганець, магній, вуглець, галій, кремній та залізо, у вигляді порошку та прутків. При використанні легуючого елемента у вигляді порошку, як анод використовувався пруток з алюмінію АД00 та Д1.

Підготовка деталей під зварювання здійснювалась у два етапи: 1 – механічне очищення поверхневих шарів від забруднень шляхом шабрування; 2 – модифікація поверхневих шарів алюмінію вищевказаними матеріалами (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд зразка після електроіскрової обробки поверхні

Після електроіскрового легування проводилося електроконтактне точкове зварювання на режимі: сила струму – 12 кА, час імпульсу – 0,1 с, зусилля зварювання – 500-600 Н. Для зварювання використовували мідні електроди з діаметром робочої частини 6 мм.

Одним із головних параметрів режиму електроіскрової обробки є сила струму [11]. Тому нами було досліджено вплив струму обробки для кожного з матеріалів на міцність та деформацію основних матеріалів. Необхідно зазначити, що на вказаних режимах з'єднання алюмінію без прошарку та при використанні вуглецю, кремнію та галію отримати зварне з'єднання не вдалося.

Після кожного циклу зварювання проводилися вимірювання величини деформації зразків, а також випробування на зріз із відповідними розрахунками. Відповідні результати випробувань представлені на рис. 3, 4.

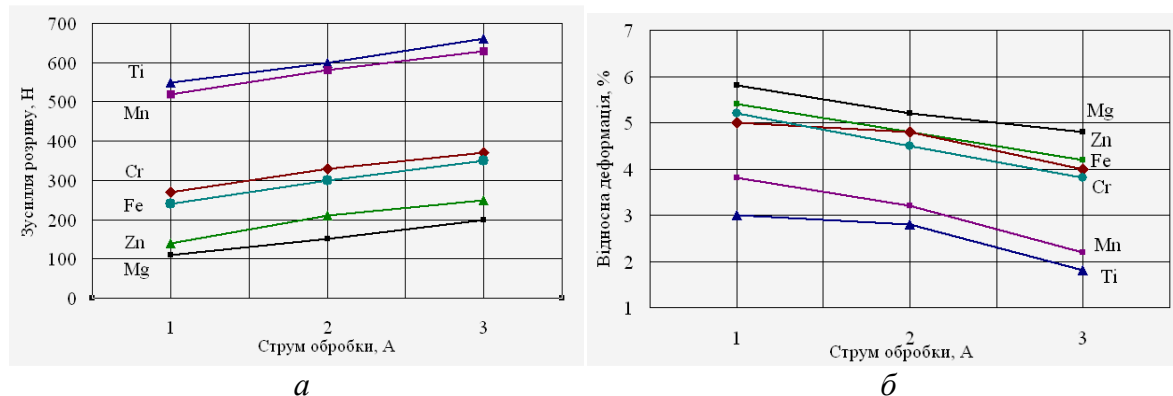


Рис. 3. Графіки залежності міцності на зріз (а) та відносної залишкової деформації (б) зварних з'єднань з АД00, отриманих через різні модифіковані шари, від сили струму електроіскрової обробки

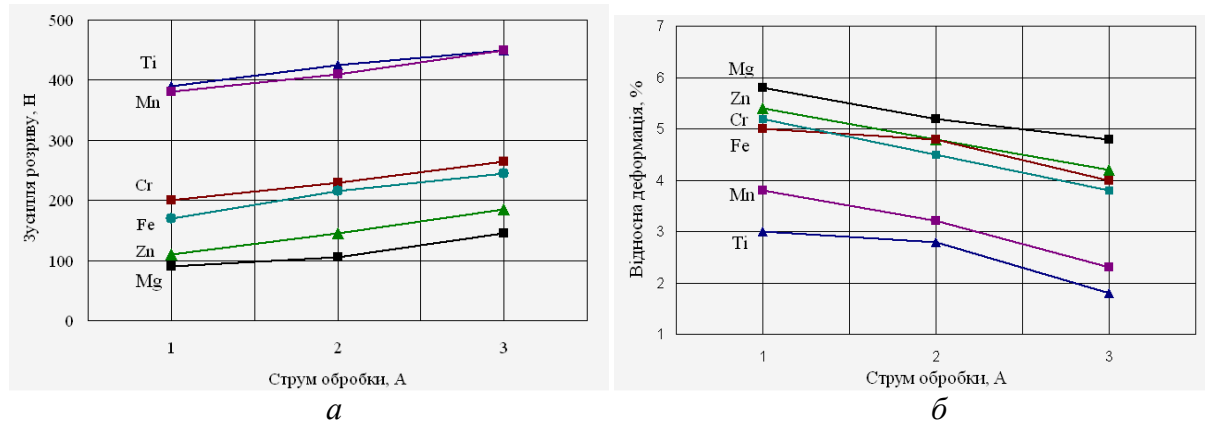


Рис. 4. Графіки залежності міцності на зріз (а) та відносної залишкової деформації (б) зварних з'єднань зі сплавом Д1, отриманих через різні модифіковані шари, від сили струму електроіскрової обробки

Аналізуючи представлені залежності, видно, що міцність з'єднань залежить від електричного опору матеріалу модифікованого шару. Максимальна міцність досягається при використанні прошарку з титану та марганцю для обох сплавів алюмінію. Залежно від струму електроіскрової обробки для всіх матеріалів прошарків зі збільшенням сили струму в діапазоні 0,5-1,5 А міцність зварного з'єднання зростає, а відносна деформація зменшується. Дана залежність пояснюється тим, що зі збільшенням сили струму обробки масоперенос збільшується, що призводить до збільшення кількості анодного матеріалу (матеріалу прошарку) на поверхні алюмінію, яке відповідає збільшенню площі фізичного контакту з більшим електричним опором, ніж у алюмінію. На рис. 5 представлені мікроструктури зварних з'єднань АД00 та Д1, отриманих через модифіковані титаном шари.

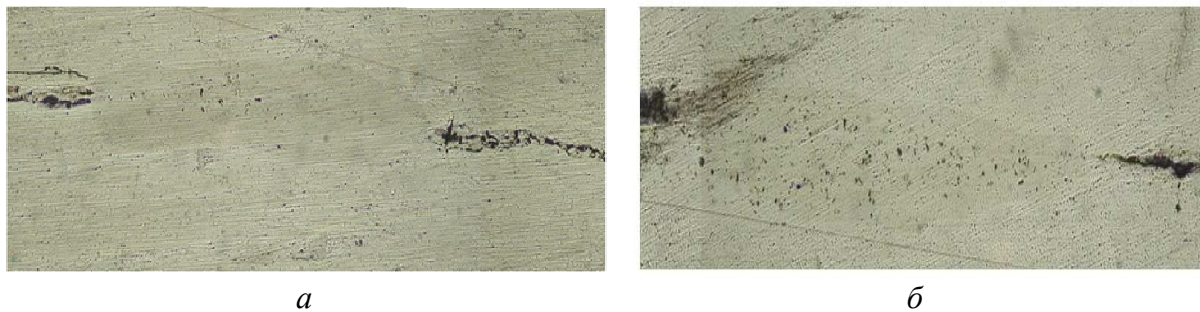


Рис. 5. Мікроструктура зварного з'єднання сплаву АД00 (а) та Д1 (б), отриманого через модифікований титаном шар (оптична мікроскопія, $\times 20$)

Як видно з представлених рисунків, у зоні взаємного розплавлення спостерігається пористість литого ядра. Водночас глибина проплавлення становить приблизно 20-25 % товщини основного металу, а діаметр ядра – 4-4,5 мм. Відповідно до встановленого діаметру ядра та розривного зусилля, міцність зварних з'єднань, отриманих електроконтактним точковим зварюванням через модифікований титаном шар, становить 85 % міцності основного матеріалу.

Таким чином, можна зробити висновок, що модифікація поверхневих шарів алюмінію матеріалом із високим питомим електричним опором дозволяє додатково локалізувати теплову енергію в стику, але при цьому виникає пористість литої зони, а діаметр ядра недостатній для отримання якісних прецизійних нероз'ємних з'єднань при електроконтактному точковому зварюванні. Однією з причин цього, ймовірно, є те, що, зважаючи на глибину модифікованого шару (80-100 мкм) при електроіскровій обробці,

при зварюванні не вдається локалізувати достатню кількість теплової енергії безпосередньо в контактi деталь-деталь.

Тому нами була проведена серія експериментів з електроконтактного зварювання алюмінію АД00 через порошкові прошарки товщиною порядку 100 мкм із матеріалів, які використовувалися для модифікації електроіскровою обробкою. Зварювання проводили на тому ж режимі, що й у попередніх експериментах. Після зварювання також проводилися механічні випробування на зріз, результати яких наведені на рис. 6.

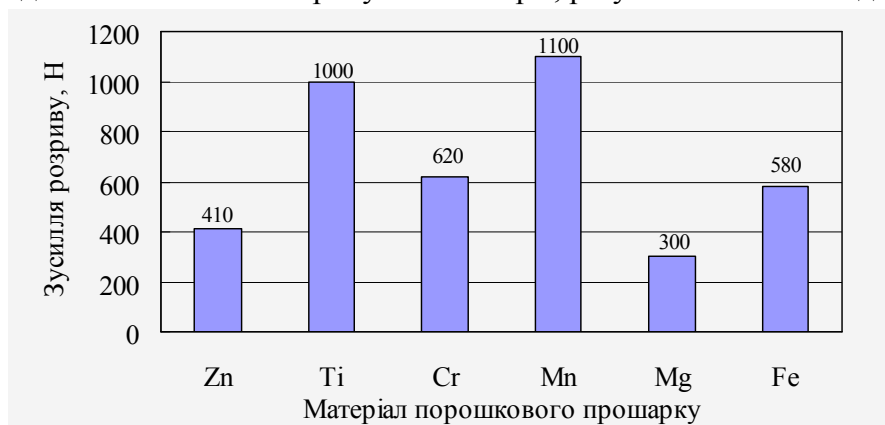


Рис. 6. Міцність зварних з'єднань з АД00, отриманих через порошкові прошарки з різних матеріалів

З аналізу представленого графіка видно, що максимальна міцність зварних з'єднань з використанням різних матеріалів для модифікації розподілилась у такому порядку: марганець, титан, хром, армко-залізо, цинк, магній, що на пряму залежить від питомого електричного опору матеріалів – чим більше опір модифікованого шару, тим більше тепловиділення і, відповідно, міцність з'єднання. Максимальна міцність досягається при використанні титану та марганцю. У всіх випадках деформація основного матеріалу залежить як від матеріалу, що використовувався для модифікації поверхневого шару алюмінію, так і від сили струму електроіскрової обробки. З підвищенням сили струму обробки, а також із підвищенням питомого електричного опору матеріалу рівень деформації зменшується.

Порівнюючи отримані результати з даними по зварюванню через шари, модифіковані електроіскровою обробкою, можна зробити висновок, що розривні зусилля на зріз зварних з'єднань, отриманих через порошкові прошарки, на 50 % більше, ніж розривні зусилля на зріз з'єднань, одержаних через модифіковані електроіскровою обробкою шари, що, на нашу думку, пов'язано з підвищенням локалізації теплової енергії в контактi деталь-деталь. Найбільша міцність зварного з'єднання спостерігається при використанні порошкового прошарку з марганцю. При цьому деформація основного матеріалу становить менше 2 %.

На рис. 7 представлено мікроструктуру зварного з'єднання АД00 через прошарок із порошку марганцю та топографія поверхні зламу.

Мікрорентгеноспектральний аналіз зварних з'єднань показав, що в зоні з'єднання спостерігається досить велике скупчення нерозплавленого марганцю (частково й у зоні литого ядра), що свідчить про те, що він не вступає в хімічну взаємодію з алюмінієм, а служить лише локалізатором теплової енергії, що обмежує використання таких з'єднань для виготовлення електротехнічних виробів у зв'язку зі зменшенням електропровідності зони контакту.

При цьому встановлено, що діаметр ядра становить величину близько 5 мм, і відповідно до розривного зусилля міцність зварного з'єднання становить 55 МПа або 90 % міцності основного матеріалу.

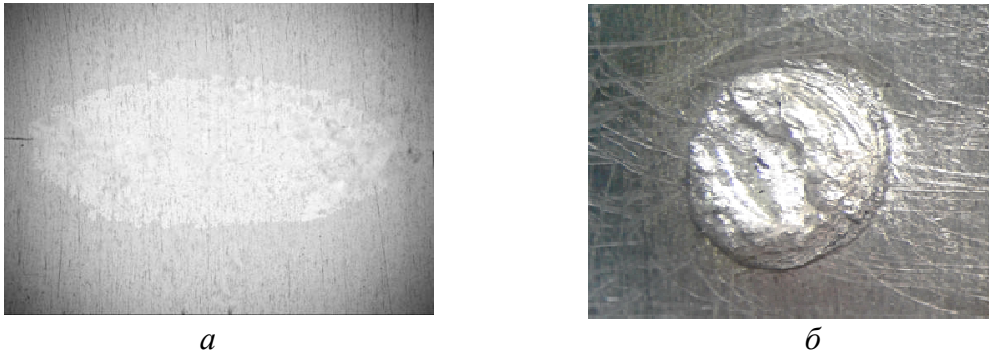


Рис. 7. Мікроструктура зварного з'єднання сплаву АД00, отриманого через прошарок із порошку марганцю (а) (оптична мікроскопія; $\times 10$) та топографія поверхні зламу зварного з'єднання сплаву АД00, отриманого через прошарок із порошку марганцю (б) (оптична мікроскопія $\times 8$)

Висновки відповідно до статті.

1. Розроблено методику підготовки поверхонь металевих матеріалів до прецизійного зварювання тиском, яка включає попередню механічну обробку та модифікацію поверхневого шару.

2. Розроблено методику нанесення проміжних шарів електроіскровою обробкою. Показано, що модифікація електроіскровою обробкою поверхонь зварювання матеріалом із високим електричним опором дозволяє локалізувати теплову енергію в стикку. Однак при цьому в литому ядрі спостерігається пористість, що не дозволяє отримати рівномірні основному матеріалу з'єднання.

3. Встановлено, що використання порошкового прошарку з матеріалу з високим електричним опором дозволяє локалізувати теплову енергію в стикку та зменшити рівень деформації основного матеріалу. Показано, що застосування при електроконтактному точковому зварюванні алюмінію АД00 прошарку з порошку марганцю, дозволяє отримати міцність зварних з'єднань на рівні 90 % міцності основного матеріалу при відносній деформації менше 2 %.

4. Отримані результати можуть бути використані при розробці технологій виготовлення різних прецизійних деталей та вузлів приладів і механізмів з однорідних та різнорідних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Банов М. Д. Специальные способы сварки и резки : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / М. Д. Банов, В. В. Масаков, Н. П. Плюсина. – М. : Академия, 2009. – 207 с.
2. Кочергин К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1987. – 240 с.
3. Каракозов Э. С. Сварка металлов давлением / Э. С. Каракозов. – М. : Машиностроение, 1986. – 280 с.
4. Конюшков Г. В. Диффузионная сварка в электронике / Г. В. Конюшков, Ю. В. Копылов. – М. : Энергия, 1979. – 168 с.
5. Новомлинець О. О. Наукові та технологічні основи отримання прецизійних нероз'ємних з'єднань зварюванням тиском : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології» / Новомлинець Олег Олександрович ; Донбаська державна машинобудівна академія. – Краматорськ, 2018. – 40 с.
6. Новомлинець О. О. Електроконтактне точкове зварювання алюмінію та його сплавів через проміжні прошарки / О. О. Новомлинець, П. С. Сластион // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – С. 60–61.
7. Новомлинець О. О. Розробка технології прецизійного електроконтактного точкового зварювання алюмінію та його сплавів / О. О. Новомлинець, Т. Р. Ганєєв // Матеріали VII науково-технічної конференції молодих вчених і спеціалістів «Зварювання та споріднені технології». – К. : ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2013. – С. 49.

8. *Электроискровая обработка металлов*, Труды ЦНИЛ / Б. Р. Лазаренко и др. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – Вып. 1.
9. *Химухин С. Н.* Разработка научных основ формирования изменённого слоя на металлах и сплавах с заданными свойствами при низковольтной электроискровой обработке : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Химухин Сергей Николаевич ; КНАГТУ. – Комсомольск-на-Амуре, 2009. – 40 с.
10. *Квасницкий В. В.* Специальные способы сварки : учебное пособие / В. В. Квасницкий. – Николаев : УДМТУ, 2003. – 437 с.
11. *Электроискровое легирование металлических поверхностей* / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревуцкий. – Кишинев : Штиинца, 1985. – 196 с.

References

1. Banov, M. D., Masakov, V. V. & Plusnina, N. P. (2009). *Spetsialnye sposoby svarki i rezki* [Special methods of welding and cutting]. Moscow: Academia [in Russian].
2. Kochergin, K. A. (1987). *Kontaktnaya svarka* [Resistance welding]. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
3. Karakozov, E. S. (1986). *Svarka metallov davleniem* [Resistance pressure welding]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
4. Koniushkov, G. V. (1979). *Diffuzionnaya svarka v elektronike* [Diffusion welding in electronics]. Moscow: Energiya [in Russian].
5. Novomlynets, O. O. (2018). *Naukovi ta tehnolohichni osnovy otrymannia pretsyziynih nerozjemnyh zjednan zvaryuvanniam tyskom* [Scientific and Technological Fundamentals of Producing Precise, Non-detachable Joints by Pressure Welding]. (Doctor's thesis). Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk [in Ukrainian].
6. Novomlynets, O. O., & Slastion, P. S. (2012). *Elektrokontaktne tochkove zvaryuvannia aliuminiu ta joho splaviv cherez promizhni prosharky* [Electric resistance spot welding of aluminium and alloys through interlayers]. *II Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Kompleksne zabezpechennia yakosti tehnolohichnyh protsesiv ta system» – II International scientific-practical conference «Complex ensuring of quality of technological processes and systems»* (Chernihiv, Ukraine, May 23-25, 2012). Chernihiv: ChDTU [in Ukrainian].
7. Novomlynets, O. O., & Haniieev, T. R. (2013). *Rozrobka tekhnolohii pretsyziynoho elektrokontaktneho tochkovoho zvaryuvannia aliuminiu ta joho splaviv* [Development of precision electric resistance spot welding of aluminium and alloys], XVI naukovo-tehnichna konferentsiia molodyh vcheny i spetsialistiv «Zvaryuvannia ta sporidneni tehnolohii» [XVI International scientific-practical conference «Welding and related technologies»]. (Kyiv, The E. O. Paton electric welding institute, May 22-24, 2013). Kyiv [in Ukrainian].
8. Lazarenko, B. R. (Ed.) (1957). *Elektroiskrovaya obrabotka metallov. Trudy TsNIL* [Electrical-discharge machining of metals. Memoir of Central research laboratory]. Moscow: Publishing house of Academy of Sciences of the USSR [in Russian].
9. *Khimukhin, S. N.* (2009). *Razrabotka nauchnyh osnov formirovaniya izmenennogo sloya na metallah i splavah s zadannymi svojstvami pri nizkovoltnoj elektrtoiskrovoj obrabotke* [Development of scientific basics of modified layer on metals and alloys with specified properties under low-voltage electrical-discharge machining]. (Doctor's thesis). KNAAGTU, Komsomolsk-on-Amur [in Russian].
10. *Kvasnitsky V. V.* (2003). *Spetsialnye sposoby svarki* [Special welding processes]. Nikolaiev: UDMTU [in Russian].
11. *Gitlevich A. E., Mihaylov V. V., Parkanskiy N. Ya., & Revutskiy V. M.* (1985). *Elektroiskrovoe legirovanie metallicheskikh poverhnostey* [Electrical-discharge machining of metal surfaces]. Kishinev: Shtiintsa [in Russian].

UDC 621.791.4

*Oleh Novomlynets, Serhii Oleksiienko, Svitlana Yushchenko,
Oleksiy Baydala, Evgen Polovetskiy*

PRECISION PRESSURE WELDING OF ALUMINIUM ALLOYS THROUGH MODIFIED SURFACE LAYERS

Urgency of the research. Saving their project shape and ensuring of high service properties is the necessary task for production and using of products with complicated configuration from homogeneous and heterogeneous materials. It requires usage of new technologies of precision pressure welding.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Target setting. Fabrication of precision parts and units by pressure welding become complicated through the presence of oxide and adsorbed films and necessity of welded surfaces activation.

Actual scientific researches and issues analysis. Earlier we had established criteria of achievement the precision effect by pressure welding.

Uninvestigated parts of general matters defining. Obtaining of precision joints by pressure welding with use of intermediate layers modified by electrical-discharge alloying.

The research objective. Investigation of ability to pressure welding with limited deformation level of metallic materials with preliminary modification of surface layers by electrical-discharge machining.

The statement of basic materials. For modification of surfaces of aluminium alloys 1070A and 2017 before welding materials with high electric resistance and materials which form liquid eutectic with aluminium (titanium, zinc, chromium, manganese, magnesium, carbon, gallium, silicon and iron) in the form of bar and powder are used. Strength and deformation of welded joints depend on electrical resistance of material of surface layer and, as a result, current machining strength.

Conclusions. Methodology of metal surfaces preparation for welding by mechanical scraping and electrical-discharge modification; electrical-discharge alloying by material with high electric resistance localizes heat energy in the butt; usage of powder interlayer from material with high electric resistance allows to reduce residual deformation level.

Keywords: pressure welding; modification of surfaces; electrical-discharge machining; energy localization in the butt; precision joints.

Fig.: 7. References: 11.

Новомлинець Олег Олександрович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Novomlynets Oleh – Doctor in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: oon1@ukr.net

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

ResearcherID: F-8166-2014

Scopus Author ID: 56938958300; 6507741249

Олексієнко Сергій Владиславович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Oleksiienko Serhii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sv.oleks@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5475-4439>

ResearcherID: F-8197-2014

Scopus Author ID: 57190370561

Ющенко Світлана Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Yushchenko Svitlana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: rasssveta@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0863-9020>

ResearcherID: F-7741-2014

Scopus Author ID: 57190373626

Байдала Олексій Васильович – аспірант кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Baydala Oleksiy – postgraduate student of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: 0978167289@ukr.net

Половецький Євген Вікторович – кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу фізико-хімічних методів дослідження матеріалів, ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України (вул. К. Малевича, 11, Київ-150, 03680, Україна).

Polovetskiy Evgen – PhD in Technical Sciences, research engineer of the Department of physical-chemical investigation methods of materials, The E. O. Paton electric welding institute of the National Academy of Science of Ukraine (11 Malevicha Str., 03680 Kyiv-150, Ukraine).

E-mail: poloveckiyy@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8113-0434>

Researcher ID: U-9135-2017

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 62-53:623.746-519

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-132-138

Ольга Башинська, Володимир Казимир, Сергій Нестеренко

ФОРМУВАННЯ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ЛОГ-ФАЙЛІВ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЇ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Актуальність теми дослідження. Об'єктивне визначення показників якості безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) є передумовою використання різноманітних засобів технічної діагностики, серед яких пропонується використовувати файли телеметричних логів БпАК. Ця задача, починаючи від визначення вимог до систем оперативного діагностування БпАК і закінчуючи технологічними аспектами реалізації, поки не має ефективного вирішення.

Постановка проблеми. При проектуванні складної технічної системи є вибір ефективного способу збирання та накопичення інформації про стан системи в реальному часі. По-перше, набір характеристик, що підлягають вимірюванню, повинен відповідати певній номенклатурі показників якості, що використовуються для оцінювання БпАК. По-друге, необхідно дослідити можливі способи реалізації процесів оперативного збору даних телеметрії на основі сучасних інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наведено опис систем журналювання технічних систем, а саме, автомобільних та комп'ютерних систем, таких як операційні системи та комп'ютерні мережі. Щодо БпАК, наявні відомості фрагментарні та відображають лише поодинокі досвід використання аматорських безпілотних апаратів різних типів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Розробка нових типів БпАК та їх модифікація потребують формулювання чітких проектних вимог до всіх підсистем, у тому числі й до підсистеми телеметрії, яку пропонується розглядати як засіб технічної діагностики з метою оцінки якості БпАК.

Виклад основного матеріалу. Наводяться дані про типізацію логів у процесі журналювання даних телеметрії. Встановлюється зв'язок між типом логів, швидкістю запису та зручністю постобробки. Формулюються основні властивості системи журналювання БпАК: оперативність фіксації, функціональна повнота протоколу, можливість конвертації в текстовий формат, захищеність від втручання. Як приклад реалізації розглядається удосконалений протокол на базі MAVLink з адаптацією під спеціальні умови використання.

Висновки відповідно до статті. Логи телеметрії БпАК містять в собі об'єктивну інформацію про стан БпАК у процесі їх використання, тому за умови їх правильного використання та інтерпретації вони можуть бути використані як засіб технічної діагностики з метою подальшого об'єктивного оцінювання якості БпАК.

Ключові слова: технічна діагностика; журналювання; безпілотні авіаційні комплекси; показники якості.

Рис.: 3. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. Об'єктивне визначення показників якості безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) є передумовою використання різноманітних засобів технічної діагностики, серед яких пропонується використовувати файли телеметричних логів БпАК. Ця задача, починаючи від визначення вимог до систем оперативного діагностування БпАК і закінчуючи технологічними аспектами реалізації, поки не має ефективного вирішення.

Постановка проблеми.

Технічна діагностика складних технічних та організаційних систем, до яких відносяться і безпілотні авіаційні комплекси (БпАК), потребує, серед іншого, збирання та накопичення інформації про стан останніх протягом певного часу. Подібна діяльність одержала назву журналювання (ведення журналів). Синонімом назви таких журналів є термін «лог» (англ. log – журнал). Ця інформація дає змогу продіагностувати технічну систему та створює підґрунтя для неупередженого та об'єктивного визначення показників якості останньої. Крім того, накопичення та відповідна інтерпретація логів дозволяє виявляти напрями змін цих систем – як бажаних, так і небажаних, які є наслідком збурень та неконтрольованих процесів у середовищі, яке оточує систему. Подібні дані є матеріальним уособленням інформаційних зворотних зв'язків, належне використання яких робить можливим досягнення стабільності функціонування систем та запобігання збоям та аваріям (рис. 1).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Зазвичай логи записуються в системах із таких цілей:

- накопичення інформації про стан системи та його зміни в часі [1]. Ця задача одержала назву «моніторинг» і є складовою частиною алгоритму управління ризиками в системі;
- одержання інформації про стан системи та події, які передують збоєм або аваріям [2], з метою ліквідації наслідків останніх;
- об'єктивного оцінювання показників якості технічної системи.

Використання логів ускладнюється тим, що корисна інформація в них міститься в неявному вигляді, що робить актуальним завдання розробки ефективних методів розшифрування та правильної інтерпретації логів.

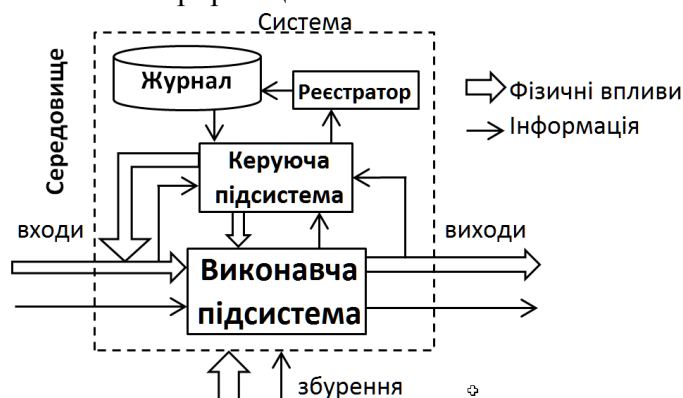


Рис. 1. Місце підсистеми журналювання в узагальненій схемі системи

Огляд існуючих рішень задачі журналювання.

Журналювання є важливою операцією в процесі функціонування комп'ютерних систем, особливо коли симптоми відмов важко виявити. Ведення журналу забезпечує максимально докладні деталі стану системи перед відмовою, такі, як значення змінних, значення, які повертають функції і т. ін. Коли виникає помилка, системний адміністратор повинен визначити, що спричинило помилку [2], спробувати відновити всі втрачені дані та запобігти повторенню інциденту. Системний адміністратор може потім використовувати журнал подій, щоб визначити, які умови викликали помилку та визначили контекст, в якому він стався. Періодично переглядаючи журнал подій, системний адміністратор може виявити проблеми (наприклад, несправний жорсткий диск), перш ніж вони заподіють шкоду.

У комп'ютерних системах класифікують кілька типів подій, які можна зареєструвати. Усі ці дані мають чітко визначені загальні ознаки і, можливо, включають дані про конкретні події. Програма вказує тип події, коли надходить повідомлення про те, що воно сталося. Стандартним способом генерації такого повідомлення є виклик відповідного переривання операційної системи. Кожна подія повинна бути віднесена до одного типу. Програмні засоби перегляду списку подій відображають кожен тип подій із використанням різних позначок, кольору або інших візуальних засобів.

В операційних системах (ОС), наприклад у Microsoft Windows 7, на підставі подібної класифікації подій та накопичення статистичних даних виводиться інтегральний показник якості роботи ОС, названий індексом продуктивності.

Комп'ютерні мережі (КМ), як локальні, так і глобальні, стали нині чи не найголовнішим засобом цивільного зв'язку. Їхня надійність та продуктивність є критично важливими для багатьох державних та приватних областей застосування, тому вони перебувають під постійним наглядом та контролем, здійснення яких потребує обов'язкового журналювання та моніторингу. Як перше, так і друге в КМ має певні особливості [3].

Логи про свою роботу ведуть веб-сервери (спеціалізовані комп'ютерні програми, які обробляють великі потоки запитів, наприклад, Apache, Nginx, Lighttpd та інші). Їх лог-файли мають наперед задані імена – **access.log** та **error.log**, і за своїм форматом вони є текстовими (рис. 2).

```
66.249.64.34 - frank [05/Apr/2017:13:55:36 -0700] "GET /product-123 HTTP/1.1" 200
2326 " http://www.webstore.com/home.html" "Mozilla/5.0 (compatible; Googlebot/2.1;
+http://www.google.com/bot.html)"
```

Рис. 2. Типовий вигляд фрагмента лог-файла *access.log* веб-серверу Apache комп'ютерної мережі

Файл **access.log** використовується веб-серверами для запису звертань до сайту. Це текстовий файл, на кожному рядку якого записується одне звертання до сервера. Використається для збору статистики сайту й для виявлення можливих зловживань на сайті.

Файл **error.log** (в UNIX-подібних системах – **error_log**) – журнальний файл, використовуваний веб-сервером для журналювання виниклих на сервері помилок, що дозволяє визначити тип помилки, а також причину її виникнення. Це – текстовий файл, кожен рядок якого складається з дати виникнення помилки, її типу, IP-адреси клієнта, якому була повернута помилка, після чого подається сам текст повідомлення.

Характерною особливістю логів КМ є те, що записи в них погано структуровані. Ця особливість у поєднанні з іноді дуже великими обсягами логів (сотні тисяч і навіть мільйони рядків) роблять їх розшифрування непростою задачею. Тому про якість роботи комп'ютерної мережі за даними лог файлів серверів остаточний висновок зробити досить важко.

Логи, які записуються в автономних технічних системах (АТС), відрізняються порівняно невисокою складністю. Це пояснюється переважно обмеженістю (порівняно з розподіленими системами) АТС у просторі й у часі фіксування даних. Типовим прикладом логів АТС є логи, які записуються в багатьох моделях сучасних автомобілів (BMW M3 Coupe, Mazda MX-5, Porsche Cayman S, Renault Megane Sport, Skoda Octavia 1.8TSI та ін.) [3] для діагностики їхнього технічного стану.

Автомобільні системи реєстрації традиційно записують логи у форматі CSV (Comma Separated Values), коли окремі значення характеристик розділені комами [4]. Формально формат CSV – це текст, призначений для подання табличних даних. Його специфікація така:

- кожен рядок файла передає один рядок таблиці;
- роздільником значень окремих стовпчиків є символ коми «,»;
- нечислові символи (подвійні лапки, кома, крапка з комою, новий рядок) обрамляються подвійними лапками (" ").

Незважаючи на наявність певного стандарту [5], на сьогодні під CSV часто розуміють набір значень, розділених якими завгодно символами, з якими завгодно закінченнями рядків і множиною різних способів екранування спецсимволів. Це значно ускладнює перенесення даних з одних програм в інші, незважаючи на всю простоту реалізації підтримки CSV.

Розшифрування та інтерпретацію логів часто виконують за допомогою утиліти DieselPower Log Viewer [6]. Це відкрите програмне забезпечення, здатне переводити CSV-логи для подальшого аналізу або у формат таблиць Microsoft Excel, що досить тривіально, або показувати логи в графічному вигляді. На жаль, подібне розшифрування логів не ставить за мету визначити показники якості автомобіля, але дозволяє виявити певні несправності в системі подачі пального, електрообладнанні тощо шляхом аналізу певних характеристик.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета статті полягає в аналізі відомих рішень щодо журналювання процесу функціонування технічних систем та обґрунтування вибору базового протоколу для створення телеметричного лог-файла оперативної технічної діагностики БПАК.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Виклад основного змісту. Як видно з вищевикладеного, журнали (логи) технічних систем мають достатню інформаційну цінність для потреб технічної діагностики, оскільки вони містять об'єктивну інформацію про стан і поведінку систем. Структурно лог-файли внутрішньо облаштовані як набори регулярних записів.

Оцінимо вимоги до формування телеметричних логів БпАК, які необхідні для подальшого їх використання в системах технічної діагностики для об'єктивного оцінювання показників якості останніх.

За способом запису даних у лог останні можуть розрізнятися як:

– бінарні, в яких поля запису являють собою просто послідовності байтів, які інтерпретуються як двійкові числа;

– текстові, в яких кожен запис складається з текстових лексем наперед визначеного формату;

– змішаного типу.

Подібне розділення є важливим у випадку, коли враховується швидкість протікання процесів, які реєструються в журналі. Практично всі параметри, призначені для запису до логу, є електричними (струм або напруга, які знімаються з певного датчика). Одержання бінарного уявлення такого сигналу виконується аналогово-цифровими перетворювачами, швидкодія яких обмежується тільки постійними часу перехідних процесів у цифрових ланцюгах комп'ютерів. Реально частота одержання бінарних відліків може мати порядок до 10^9 Гц. Таким чином, послідовні записи швидкоплинних процесів раціонально виконувати саме в бінарному форматі.

Текстовий формат запису вимагає перетворення бінарного сигналу на послідовність символів (текст) перед записом у лог, а це операція порівняно повільна. Тому текстові логи здебільшого використовуються для журналювання процесів, в яких темп формування логу не є критичною перепорою.

Для наступної обробки більш зручним є текстовий формат, оскільки дуже поширені [7; 8] програмні інструменти лексичного розбору (парсінгу) текстових рядків. Парсінг же бінарного логу інакше, аніж програмним чином, видається неможливим. При цьому не відомі універсальні програмні додатки, які були б здатні розбирати бінарні логи довільного формату. У силу цього для розбору та інформаційної інтерпретації кожного різновиду бінарних логів доводиться писати спеціальне програмне забезпечення.

Незручність бінарних логів для постобробки примушує виробників систем, в яких ведеться логінг, розробляти [9] утиліти конвертації бінарних логів у текстовий, та в інших зручних для розшифрування форматах (Comma Separated Values, Matlab). Таким чином, часові витрати на створення текстового формату, яких уникнули при записі бінарного логу, однаково відбуваються, але в спокійний період постобробки, що цілком виправдано з практичного погляду.

По-перше, треба зазначити, що функціонування силової підсистеми БпАК (джерело живлення, контролер двигуна та власне двигун, а також системи керування польотом характеризуються достатньо високою частотою зміни параметрів (20 кГц – 1,1 ГГц)) [10]. У силу цього забезпечення потрібної оперативності записів до логу можна забезпечити єдиним шляхом – використанням логів бінарного формату.

По-друге, формат телеметричного логу повинен забезпечувати як передачу даних на НСК, так і, за необхідності, прийом команд керування з неї. Звідси виникає необхідність використання достатньо розвинутого протоколу обміну БпЛА – НСК, який би був здатний кодувати значну кількість інформаційних каналів.

По-третє, обов'язковим етапом обробки даних польоту є аналіз та інтерпретація логів, зокрема, телеметричних логів НСК. Як зазначалось вище, цю роботу раціонально виконувати, працюючи з записами не бінарного, а текстового формату. Отже, до комплексу обробки телеметричної інформації слід включати програмне застосування для перетворення бінарного подання лог файла в текстове. Як можлива альтернатива є включення операції конвертації в технологічний ланцюг алгоритму розшифрування лог-файла.

Для вирішення проблеми об'єктивного обчислення показників якості БпАК на базі аналізу телеметричних логів потрібно виконати певні передумови. Перша полягає в необхідності створення системи накопичення логів як засобів документування польотів БпАК. Друга передумова полягає в розробці та комплексуванні алгоритмічних засобів оперативного розшифрування та правильної інтерпретації даних логів. Третя передумова полягає створенні інтерфейсу між системами розшифрування логів та системами розрахунку показників якості БпАК.

Для створення формату лог-файла, який був би максимально зручним для використання його в процесах технічної діагностики, можливо розробити спеціальний протокол телеметричного обміну, але такого, який точно відповідає умовам експлуатації БпАК. Треба зазначити, що подібна задача може скласти предмет окремого наукового дослідження та дослідно-конструкторської розробки. Альтернативою цьому є використання певного відомого рішення, та його можливої адаптації до умов експлуатації БпАК. Оскільки цей шлях більш вигідний з економічного погляду, він використовується достатньо широко [11].

Формат логів БпАК є бінарним, що ускладнює їх розшифровку й інтерпретацію, тому постає задача їх конвертації в символьний формат. Розглянемо вимоги, які висуваються щодо систем журналювання БпАК загального призначення.

Розглянемо один із варіантів другого напрямку, а саме придатність відомого відкритого протоколу MAVLink [12] для випадків спеціального використання БпАК.

Цей відкритий протокол описує структуру лог-файла як послідовність кадрів (пакетів, фреймів), в які записуються дані бінарного формату (рис. 3).

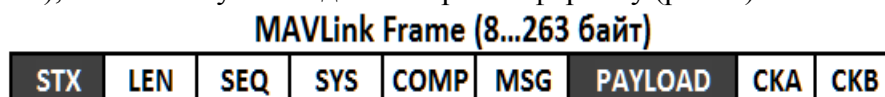


Рис. 3. Структура фрейму протоколу MAVLink

Джерело: [13].

Перший байт пакета (STX) – символ початку повідомлення. LEN – довжина повідомлення (Payload). SEQ – лічильник пакета (0–255). SYS (System ID) – ідентифікатор системи, яка надіслала повідомлення, а COMP (Component ID) – ідентифікатор компонента, який відправив повідомлення. MSG (Message ID) – тип повідомлення, від якого залежить, які конкретно дані будуть записані в поле повідомлення пакету. PAYLOAD – повідомлення пакету, довжиною 0...255 байт. СКА та СКВ – молодший та старший байти контрольної суми пакету.

Враховуючи відкритість протоколу та доступність похідних текстів його програмного коду, дослідники для аналізу та інтерпретації телеметричних логів формату MAVLink зазвичай використовують нестандартні програмні рішення. Щоправда, популярна програма керування польотами БпАК Mission Planner [9] частково вирішує проблему інтерпретації логів, бо в ній наявна хоча б можливість відображення графіків параметрів, що фіксуються лог-файлом, за вибором користувача.

Таким чином, використання описаного протоколу MAVLink дає реальну можливість виконання сформульованих вище передумов використання телеметричних логів БпАК для технічної діагностики БпАК і подальшого об'єктивного визначення показників їхньої якості.

Висновки відповідно до статті. Телеметричні логи БпАК є широкодоступним засобом документування польотів БпЛА. Вони містять у собі об'єктивну інформацію про перебіг польотів БпЛА, тому можуть бути використані для технічної діагностики БпАК і подальшого об'єктивного визначення показників їхньої якості.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Найбільш зручним для обробки слід вважати символічний формат логів, який серед промислових систем є найбільш поширеними. Разом з тим формат логів БпАК є бінарним, що ускладнює їх розшифрування й інтерпретацію та вимагає їх конвертації в символічний формат.

Використання протоколу телеметричного обміну MAVLink є ефективним рішенням для побудови комплексної системи технічної діагностики БпАК з метою подальшого об'єктивного визначення показників їхньої якості.

Список використаних джерел

1. Dunn T. How To Get Into Hobby RC: Telemetry Systems [Електронний ресурс] / T. Dunn. – Режим доступу : <https://www.tested.com/tech/532834-how-get-hobby-rc-telemetry-systems>.
2. About Event Logging [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/desktop/EventLog/about-event-logging>.
3. Apache logging services [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://logging.apache.org>.
4. CSV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV>.
5. Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files. Request for Comments 4180. – Y. Shafranovich, Network Working Group, SolidMatrix Technologies, Inc. – October 2005.
6. Инструментарий для просмотра логов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.drive2.ru/c/1522438>.
7. Log Parser 2.2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=24659>.
8. LogParser — привычный взгляд на непривычные вещи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habr.com/post/85758>.
9. APM Mission Planner 2 Home [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/planner2/index.html#home>.
10. Doherty P., Kvarnstrom J., Wzorek M., Rudol P., Heintz F., Conte G. HDRC3: A Distributed Hybrid Deliberative/Reactive Architecture for Unmanned Aircraft Systems / Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Ed. by Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J. – Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2015. – P. 849-952.
11. DIY DRONES. The Leading Community for Personal UAVs [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://diydrones.com/>.
12. MAVLink Micro Air Vehicle Protocol [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <https://github.com/MAVLink>.
13. Разбираемся в MAVLink [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <https://habr.com/post/312300>.

References

1. Dunn T. How To Get Into Hobby RC: Telemetry Systems. Retrieved from <https://www.tested.com/tech/532834-how-get-hobby-rc-telemetry-systems>.
2. About Event Logging. Retrieved from <https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/desktop/EventLog/about-event-logging>.
3. Apache logging services. Retrieved from <https://logging.apache.org>.
4. CSV. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV>.
5. Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files. Request for Comments 4180. Y. Shafranovich, Network Working Group, SolidMatrix Technologies, Inc. October 2005.
6. *Instrumentarii dla prosmotra logov [Tools for the logs review]*. Retrieved from <https://www.drive2.ru/c/1522438>.
7. Log Parser 2.2. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=24659>.
8. LogParser – Privychnyi vzgliad na neprivychnye veshchi. [*The trival look on the untrivial issues*]. Retrieved from <https://habr.com/post/85758>.
9. APM Mission Planner 2 Home. Retrieved from <http://ardupilot.org/planner2/index.html#home>.
10. Doherty P., Kvarnstrom J., Wzorek M., Rudol P., Heintz F., Conte G. HDRC3: A Distributed Hybrid Deliberative/Reactive Architecture for Unmanned Aircraft Systems / Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Ed. by Valavanis K.P., Vachtsevanos G.J. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2015. P. 849-952.

11. DIY DRONES. The Leading Community for Personal UAVs. Retrieved from <http://diydrones.com/>.

12. MAVLink Micro Air Vehicle Protocol. Retrieved from <https://github.com/MAVLink>.

13. Razbirayemsia s MAVLink. [Let's Clean Up With the MAVLink]. Retrieved from <https://habr.com/post/312300>.

UDC 62-53:623.746-519

Olha Bashynska, Volodymyr Kazymyr, Sergii Nesterenko

FORMING TELEMETRIC LOG FILES FOR UNMANNED AERIAL SYSTEMS' OPERATIONAL TECHNICAL DIAGNOSIS

Urgency of the research. Objective definition of quality indicators of unmanned aerial systems (UAS) presupposes the use of various means of technical diagnostics, among which it is proposed to use the files of telemetric logs UAS. This task, from the definition of requirements to the systems of operational diagnostics UAS and ending with the technological aspects of implementation, has not an effective solution yet.

Problem setting. When designing a sophisticated technical system, such as UAS, one of the subsystems for ensuring the survivability and manageability of the system is the choice of an efficient way to collect and accumulate real-time system information. Firstly, the set of characteristics to be measured must be in line with a certain range of quality indicators used to evaluate the UAS. Secondly, it is necessary to investigate possible ways of implementing telemetry operative data collection processes based on modern information technologies.

Analysis of recent research and publications. The description of logistics systems of technical systems, namely, automotive and computer systems, such as operating systems and computer networks, is described. Regarding UAS, the available information is fragmented and only reflects the experience of using unmanned vehicles of different types by amateurs.

Uninvestigated parts of the general matters defining. The development of new types of UAS and their modification require the formulation of clear design requirements for all subsystems, including the subsystem of telemetry, which is proposed to be considered as a means of technical diagnostics in order to assess the quality of UAS.

Presenting main material. The data on typing logs in the process of journaling telemetry data is given. A connection is established between the type of logs, the recording speed and the convenience of post-processing. The basic properties of the logging system of UAS are formulated: the efficiency of fixation, the functional completeness of the protocol, the ability to convert to text format, security from interference. As an example of implementation, an improved protocol based on MAVLink with adaptation under special terms of use is considered.

Conclusions regarding the article. The UAS telemetry logs contain objective information about the state of UAS in the process of their use, therefore, if they are correctly used and interpreted, they can be used as a means of technical diagnostics for the purpose of further objective assessment of the quality of the UAS.

Keywords: technical diagnostics; logging, unmanned aerial systems; quality indicators.

Fig.: 3. **References:** 13.

Башинська Ольга Олександрівна – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Bashynska Olha – graduate student of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bashinskaolga@gmail.com

Казимир Володимир Вікторович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kazymyr Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkazymyr@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

ResearcherID: Q-2925-2016

Scopus Author ID: 56644727300

Нестеренко Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань та сертифікації озброєнь та військової техніки Збройних Сил України (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

Nesterenko Sergii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, leading scientist, State Research Institute of Tests and Certification of Armaments and Military Technique of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: cranoxy@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4721-6883>

Олександр Лактіонов

ІНДЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА ВЕРСТАТА З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Актуальність теми дослідження. Проблема підвищення якості підготовки оператора верстата як показник її ефективності є актуальною для підвищення продуктивності та якості виробництва деталей на верстатах із ЧПК у цехах машинобудівних підприємств України.

Постановка проблеми. Сучасні дослідження не передбачають об'єднання нормованих оцінок і оцінок експертів у інтегровані показники, що ускладнює оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вихідними складовими поняття «якість» підготовки оператора верстата з ЧПК є сформовані характеристики особистості оператора верстата з ЧПК (1) та нормовані оцінки до його підготовки, згідно з вимогами відомчого стандарту (2).

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Використання нормованих оцінок, оцінок експертів, урахування складових технічної, інформаційної підсистем забезпечує існування стійкого зв'язку між ними.

Постановка завдання. Запропонувати формулу індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК та формулу індексу якості виготовлення деталі.

Виклад основного матеріалу. Установлено залежність між зростанням якості підготовки оператора та якістю виготовлення деталі на верстаті з ЧПК.

Висновки відповідно до статті. Ефективність зростання якості підготовки оператора верстата з ЧПК виражається на основі сформованих характеристик професійної компетентності оператора та порівняльного аналізу даних 2-го і 1-го діагностичних зрізів із використанням комплексу методів математичної статистики.

Ключові слова: індекс оцінювання якості підготовки оператора; індекс якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК; відкрита змішана система; оцінки експертів; нормовані оцінки; ефективність.

Табл.: 3. Рис.: 4. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження. Оцінювання якості підготовки оператора верстата з числовим програмним керуванням (далі ЧПК) як елемента системи «Оператор – Верстат – Керуюча програма виготовлення деталі» (далі ОВКП) та об'єкта інформаційної технології, яка забезпечує її функціонування, розглядається як взаємодія оцінок експертів, які оцінюють продукти його діяльності та нормованих оцінок, окремо для кожного рівня складності виготовлення деталі на верстаті з ЧПК, що формуються на основі змісту відомчого стандарту.

Поняття «якість підготовки фахівця» характеризує зміст сформованих характеристик особистості фахівця у взаємодії з обумовлюючими їх зовнішніми об'єктивними факторами. Тому вихідними складовими поняття «якість» підготовки оператора верстата з ЧПК повинні бути два її головні компоненти – сформовані характеристики особистості оператора верстата з ЧПК (1) та нормовані оцінки його підготовки, згідно з вимогами відомчого стандарту (2). Отже, зростання якості підготовки оператора верстата як показник її ефективності є актуальною проблемою для підвищення продуктивності та якості виробництва деталей на верстатах із ЧПК у цехах машинобудівних підприємств України.

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні недостатньо уваги приділяється оцінюванню якості підготовки оператора верстата з ЧПК, який є елементом відкритої змішаної системи ОВКП. Особливістю інформаційної технології підтримки оцінювання якості підготовки операторів верстатів із ЧПК, як елемента соціальної, технічної й інформаційної підсистем відкритої змішаної системи ОВКП, де спостерігається наявність тільки одного оператора, який протягом робочого дня обслуговує один і більше верстатів із ЧПК, маніпуляторів, в тому, що вона забезпечує якість виготовлення деталей з використанням керуючих програм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему оцінювання якості підготовки фахівців вивчали науковці: І. В. Кирюшин [1], В. Г. Чернов, М. А. Павленко, А. І. Тимочко та ін. [2], Г. І. Пазинич [3] тощо. У відомих дослідженнях домінує алгоритм, де якість підготовки фахівця характеризується прямими й оберненими зв'язками фактично отриманих продуктів діяльності при порівнянні з рівнем вимог, які повинен виконувати оператор верстата з ЧПК під час виготовлення деталі за кресленням (технічним завдан-

ням, інструкціями) Замовника. Розглянемо більш детально проблему оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Поняття «оцінювання якості підготовки фахівця» характеризує зміст сформованих характеристик особистості фахівця у взаємодії з обумовлюючими їх зовнішніми об'єктивними факторами. Оцінювання якості підготовки фахівців досліджували: Т. М. Канівець [4], О. А. Стенін, О. М. Польшакова, Д. А. Гуменний [5] та інші, які виділяють головні компоненти процесу оцінювання якості підготовки фахівця: мета оцінювання, зміст продуктів діяльності особистості, контроль, вимоги відомчого стандарту, зміст формуючих впливів. У всіх дослідженнях науковців елементом соціальної підсистеми відкритої змішаної системи розглядається фахівець із відповідно сформованими характеристиками особистості, який вступає у взаємодію із технічними, інформаційними елементами підсистеми відкритої системи. Проте недостатньо дослідженою є проблема залежності оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК та якості виготовлення деталі на верстаті, який він обслуговує.

Постановка завдання. Мета дослідження – визначення ефективності оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК.

Завдання дослідження:

1. Розробити алгоритм і формулу індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК.

2. Розробити математичну модель індексу якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК.

3. Сформувані базову експериментальну вибірку систем ОВКП, яка відповідає моделі Генеральної сукупності відкритих змішаних систем машинобудівних заводів м. Карлівка, м. Полтави та м. Харкова, для дослідження інформаційної технології підтримки оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК.

4. Експериментально перевірити залежність зростання рівня оцінювання якості підготовки оператора верстата із ЧПК та якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК.

Виклад основного матеріалу. Г. І. Пазинич у статті «Деякі особливості контролю якості підготовки судоводіїв у сучасних умовах» тлумачить визначення поняття: *«Якість підготовки визначається за фактичним знанням фахівцем складної судової техніки в потрібному для свого рівня обсязі, вмінню вирішувати різноманітні напруження всіх зусиль у динамічно змінюваних умовах, вміти отримувати й аналізувати різноманітну інформацію від різних технічних засобів, застосовувати на практиці різні за своєю природою методи забезпечення безпеки мореплавання»* [3, с. 48]. Контроль – це оцінювання та облік даних у процесі управління. У цьому визначенні поняття якості підготовки фахівця визначається при співставленні фактичних досягнень та необхідних результатів виконанням нормованих завдань, заданих відомчими стандартами, рівень яких у процесі праці задається технологією та вимогами Замовника.

Т. М. Канівець зазначає, що оцінка якості підготовки конкурентоспроможного спеціаліста – *«це процедура, яка виявляє за допомогою методик компетентність студента, дозволяє визначити критерії та параметри індивідуальних професійних якостей, характеристик, відповідних потребам ринку освітніх послуг і ринку праці»* [4, с. 15]. Головне у визначенні оцінки якості підготовки фахівця – це взаємодія сформованих якостей особистості (суб'єктивні фактори) з обумовлюючими їх формування об'єктивними факторами.

О. А. Степін, О. М. Польшакова, Д. А. Гуменний та ін. у статті «Оцінювання діяльності екіпажів літальних апаратів при їх підготовці на тренажерних системах» пропонують *«...отримати в реальному масштабі часу або оцінки екіпажу загалом за режимами і навчальним завданням за наявності оцінок окремих членів екіпажу...»* [5, с. 181]. Тренажер дає змогу в процесі навчально-практичної діяльності оператора формувати необхідні стандартизовані характеристики особистості фахівця і здійснювати оцінювання якості його підготовки в порівнянні з вимогами відомчих стандартів під час виконання завдань.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

По-перше, виділені дослідниками показники діагностики якості підготовки особистості дозволяють використовувати методи оцінювання професійної компетентності фахівця.

По-друге, методи оцінювання якості підготовки особистості (фахівця) з використанням методів діагностики продуктів його діяльності необхідно узгоджувати з методами нормування оцінок, згідно з вимогами відомчого стандарту: цю залежність ми представляємо у вигляді схеми (рис. 1).

<i>Методи експертних оцінок</i> – продукти діяльності особистості фахівця, що характеризують сформовані якості особистості	Прямі й обернені зв'язки	<i>Методи нормування оцінок</i> відповідного рівня вимог до оцінювання підготовки фахівця
--	--------------------------	---

Рис. 1. Схема оцінювання якості підготовки фахівця

Вказані компоненти змісту поняття «якості підготовки фахівця» (рис. 1) ми використовуємо для моделювання алгоритму об'єднання оцінок якості підготовки оператора верстата з ЧПК як елемента системи ОВКП та об'єкта інформаційної технології, що забезпечує її функціонування.

Оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК як елемента системи ОВКП. Елемент, за визначенням К. А. Маці, – це «найменша, неділима частина системи» [6, с. 36]. Відкрита змішана система ОВКП має три підсистеми: 1) соціальну – елементом якої є оператор верстата з ЧПК; 2) технічну – елементом якої є відповідний тип верстата з ЧПК та 3) інформаційну – елементом якої є рівень складності керуючої програми яка використовується для виготовлення деталі. У нашому дослідженні, взаємодія оператора верстата з ЧПК, як елемента соціальної підсистеми, з елементами технічної та інформаційної підсистем системи ОВКП спрямована на підвищення якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК відповідно до завдань Замовника.

В. Г. Чернов, М. А. Павленко, А. І. Тимочко та ін. у статті «Метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки оператора АСУ у процесі тренажної підготовки» пропонують: «На підставі порівняння поточного рівня підготовки оператора з виконання різного виду завдань із заданим, система планує подальший хід тренування. Якщо поточний рівень підготовки не нижче заданого – відбувається перехід до наступного етапу тренування...» [2, с. 79]. Цінність запропонованого підходу в тому, що в процесі оцінювання якості підготовки оператора виділяється фактичний рівень оцінки його підготовки, який формуючими методами піднімається у сторону досягнення установлених рівнів нормованих оцінок, згідно з вимогами відомчого стандарту.

Таким чином, алгоритм якості підготовки фахівця як елемента відкритої системи передбачає визначення тісноти взаємозв'язків між експертними оцінками результатів продуктів діяльності фахівця та нормованими оцінками щодо вимог до підготовки фахівця, які відповідають змісту відомчого стандарту.

Оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК як об'єкта інформаційної технології. Оператор верстата з ЧПК – це матеріальний носій інформаційної технології, яка забезпечує функціонування системи ОВКП, а у процесі праці виступає об'єктом інформаційної технології, яка персоніфіковано належить до цієї системи.

О. В. Григораш [7], С. М. Тиц [8] та ін. у своїх дослідженнях виділяють три підходи до визначення якості підготовки оператора як об'єкта інформаційної технології. Перший підхід оцінювання якості підготовки оператора як об'єкта інформаційної технології залежить від кількості використаних ним кодів у виділений проміжок часу для виконання завдання, які є текстом комп'ютерної програми.

Другий підхід – оцінювання якості підготовки оператора як об'єкта інформаційної технології проявляється на основі залежності якості обробки оператором вихідної емпіричної інформації (оцінок) у порівнянні її з еталоном.

Третій підхід оцінювання якості підготовки оператора як об'єкта інформаційної технології – оцінювання досягнутого рівня його підготовки за допомогою автоматизованої

системи, де фіксується рівень, зміна рівнів, тіснота зв'язків між множинами оцінок та зміст організований вплив методів формування особистості фахівця.

О. В. Григораш у статті «Комплексний підхід до вирішення проблеми покращення якості підготовки студентів» пропонує алгоритм розрахунку інтегрованого показника якості підготовки студентів, який складається з трьох змістовних параметрів особистості: «Кількість знань студента визначається за формулою: $KЗ = СБ + О_{ВКР} / 2 + П_{4,5} / 10$, де $СБ$ – середній бал навчання; $О_{ВКР}$ – оцінка випускної кваліфікаційної роботи; $П_{4,5}$ – відсоток хороших і відмінних оцінок» [7, с. 14]. Запропонована формула отримання інтегрованої оцінки якості підготовки фахівця використовує експертні оцінки продуктів діяльності оператора, які порівнюються з оцінками відомчого стандарту (у кожній навчальній програмі з предмета вказано, що повинен знати, уміти учень).

Таким чином, оцінювання якості підготовки фахівця як елемента відкритої системи, який проявляється як суб'єкт діяльності та об'єкт інформаційної технології, має єдиний алгоритм – взаємодія оцінок продуктів соціально-практичної діяльності фахівця (оцінки експертів) та нормованих оцінок згідно з вимогами відомчих стандартів щодо якості підготовки фахівця.

Особливістю дослідження оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК є об'єднання множин двох груп оцінок, які отримуються з використанням єдиного списку індикаторів, множин експертних оцінок продуктів діяльності та множин нормованих оцінок згідно з вимогами відомчого стандарту до підготовки оператора верстата з ЧПК.

У базу даних вводяться нормовані оцінки чотирьох рівнів складності виготовлення деталі на верстаті з ЧПК: 1) «Вал»; 2) «Важіль»; 3) «Корпус»; 4) «Коробка швидкостей», що дозволяє визначити якість підготовки оператора верстата з ЧПК залежно від складності виконуваного оператором верстата з ЧПК завдання: 1 – «Н (Верстати нормальної точності)»; 2 – «П (Верстати підвищеної точності)»; 3 – В (Верстати високої точності)»; 4 – «А (Верстати особливо високої точності)», «С (Особливо точні верстати)» [9, с. 114].

Зважаючи на дослідження проблем оцінювання якості підготовки фахівців у різних галузях, ми сформуваємо схему оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК як елемента системи ОВКП та об'єкта інформаційної технології, яка забезпечує її функціонування (рис. 2):

<p><u>Експертні оцінки</u> продуктів діяльності оператора верстата з ЧПК, які проявляються у взаємозв'язках з елементами технічної та інформаційної підсистем системи ОВКП</p>	<p><u>Оцінювання тісноти взаємозв'язків</u> експертних оцінок фактичної підготовки оператора та нормованих оцінок щодо необхідного рівня його підготовленості</p>	<p><u>Нормовані оцінки</u> – вимоги до рівня підготовки оператора верстата з ЧПК окремо для 1–4-го рівнів складності виготовлення деталі на верстаті з ЧПК</p>
--	---	--

Рис. 2. Схема оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК

Запропонована рис. 2 схема покладена в основу створення формули розрахунку числового значення індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК.

Індекс оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК. Для оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК використовується єдиний список індикаторів професійної компетентності особистості для отримання двох рядів оцінок: експертні оцінки та нормовані оцінки окремо для кожного з чотирьох рівнів складності керуючої програми виготовлення деталі з відповідним об'єднанням їх у індекс.

Емпіричне значення Індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК ($I_{ЯП}$) розраховується методом об'єднання двох групи оцінок у три складові інтегровані числові коефіцієнти: K_G – гностичний, K_M – мотиваційний, K_P – результативний компоненти професійної компетентності, які отримуються з використанням єдиного списку індикаторів та однотипної порядкової шкали оцінювання:

- оцінки експертів (O^e) – $Y_{1i}, Y_{2i}, Y_{3i}, \dots, Y_{ni}$;
- нормовані оцінки відомчого стандарту (O^{cm}), – $C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}, \dots, C_{ni}$.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Нормовані оцінки підготовки оператора верстата з ЧПК формуються окремо для кожного з чотирьох рівнів складності керуючої програми виготовлення деталі.

Для об'єднання множини оцінок експертів та нормованих оцінок відомчого стандарту в інтегрований числовий коефіцієнт окремо для гностичного, мотиваційного та результативного компонентів особистості оператора верстата з ЧПК використовується формула (1), яка відома як індекс Лебедика [10]:

$$K = 0,5 + \frac{9O^e}{10 + 3\chi^2}, \quad (1)$$

де $O^e = \sum_{i=1}^n y_i B_i$ – узагальнений показник оцінок експертів n -го оператора верстата з ЧПК, отриманих на основі єдиного списку 18 індикаторів (i);

n – кількість операторів верстатів із ЧПК;

B_i – коефіцієнт питомої ваги i -го параметра (індикатора), де $\sum_{i=1}^n B_i = 1$;

χ^2 – узагальнений показник сумарної розбіжності нормованих оцінок стандарту (O^{ct})

та експертних оцінок (O^e), який вираховується за формулою: $\chi_1^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(c_i - y_i)^2}{(c_i + y_i)} \cdot B_i$.

Індекс оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК ($I_{ЯП}$) об'єднує три складові інтегровані числові коефіцієнти: K_G , K_M , K_P , – гностичний, мотиваційний та результативний компоненти й обчислюється за допомогою формули (2):

$$I_{ЯП} = \sqrt[3]{K_G \cdot K_M \cdot K_P}. \quad (2)$$

Індекс якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК ($I_{ЯВД}$). Алгоритм поняття оцінювання якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК побудований на залежності першого (найменшого) та фактичного емпіричного значення рівня усередненого числового коефіцієнта для соціальної, технічної та інформаційної підсистем системи ОВКП: професійної компетентності оператора (від 1,6 до 5,0); типу продуктивності роботи вказаного верстата з ЧПК, на якому працює оператор (1 – «Н»; 2 – «П»; 3 – «В»; 4 – «А», «С») та чотирьох рівнів складності керуючої програми виготовлення деталі: 1) Вал»; 2) «Важіль»; 3) «Корпус»; 4) «Коробка швидкостей».

Індекс якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК ($I_{ЯВД}$) розраховується на основі суми співвідношень усереднених числових показників її підсистем: соціальної (C_i), технічної (T) та інформаційної (I) із фіксацією фактичного емпіричного значення та початкового, найменшого рівня усередненого числового значення для кожної підсистеми за математичною моделлю (3):

$$I_{ЯВД} = \frac{I_{ПКф.} + I_{ПКмін.}}{2} + \frac{I_{Тф.} + I_{Тмін.}}{2} + \frac{I_{Іф.} + I_{Імін.}}{2}, \quad (3)$$

де $I_{ПКф.}$, $I_{ПКмін.}$ – фактичне та мінімальне значення індексу професійної компетентності оператора;

$I_{Тф.}$, $I_{Тмін.}$ – фактичне та найменше числове значення типу продуктивності роботи вказаного типу верстата з ЧПК, на якому працює оператор;

$I_{Іф.}$, $I_{Імін.}$ – фактичний та найменший (перший), рівень складності програмного комплексу виготовлення деталі на верстаті з ЧПК, який визначається комп'ютерною програмою уведеною з флешки.

Методи формування базової експериментальної вибірки, досліджуваної для порівняльного аналізу. Для порівняльного аналізу динаміки рівня оцінювання якості підготовки різних груп операторів верстата з ЧПК необхідно створити базову експериментальну вибірку відповідно до моделі Генеральної сукупності з 419 відкритих змі-

шаних систем машинобудівних підприємствах міст Карлівка, Полтава та Харкова за ознаками: *кваліфікаційний розряд оператора, що корелюється з емпіричним значенням індексу його професійної компетентності, тип верстата з ЧПК, рівень складності керуючої програми виготовлення деталі* (табл. 1).

Таблиця 1

Ознаки моделі Генеральної сукупності відкритих змішаних систем машинобудівних заводів м. Карлівка, Полтави та Харкова (N = 419 систем, 2016 р.)

Кваліфікаційний розряд оператора			Тип верстата з ЧПК				Рівень складності комп'ютерної програми керування виготовленням деталі на верстаті з ЧПК			
3-й	4-й	5-й	1 «Н»	2 «П»	3 «В»	4 «А, С»	1 «Вал»	2 «Важіль»	3 «Корпус»	4 «Коробка швидкості»
134 чол.	163 чол.	122 чол.	89 шт.	137 шт.	115 шт.	78 шт.	105 од.	155 од.	98 од.	61 од.
32 %	39 %	29 %	21 %	33 %	27 %	19 %	25 %	37 %	23 %	15 %

За планом експерименту (2016-2017 рр.), спочатку була створена база даних оцінок 201 системи ОВКП, серед яких у 91 системі оператори засобами атестації підвищили свій кваліфікаційний рівень – з 3-го на 4-й та з 4-го на 5-й розряди, з числа яких формувався базова експериментальна вибірка ($n = 34$ системи). Методом проступінчастого випадкового безповоротного відбору, згідно з моделлю Генеральної сукупності, з довірчою ймовірністю 95 %, мінімальний обсяг базової експериментальної вибірки для дослідження динаміки рівня оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК розраховувався за формулою (4) з [11, с. 117]:

$$n = \frac{t^2 \delta^2 N}{N \Delta^2 + t^2 \delta^2}, \quad (4)$$

де N – кількість операторів, які взяли участь в атестації та підвищили кваліфікаційний розряд – 91 чол.;

t – коефіцієнт нормованого відхилення – 1;

Δ – допустима похибка – 0,04 на рівні довірчої ймовірності – 85 %;

δ – емпіричне значення дисперсії інформаційної технології забезпечення функціонування 91 відкритої змішаної системи:

$$\delta(I) = \frac{\sum (I_i - \bar{I})^2}{n}, \quad \delta = 0,15,$$

де \bar{I} – усереднене значення індексів досліджуваних інформаційних технологій відкритих систем становить 2,1.

Дослідження зростання рівня (індексу) оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК ($I_{ЯПі}$) як показника її ефективності. У порівняльному аналізі величина різниці зміни середніх емпіричних значень відхилення індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК ($\Delta \bar{I}_{ЯП}$) фіксується за формулою різниці відхилення (5):

$$\Delta \bar{I}_{ЯП} = \Delta \bar{y} = \sum_{k=1}^{34} (I_{ЯП2}(k) - I_{ЯП1}(k)) / 34, \quad (5)$$

де $I_{ЯП1}$ – емпіричні числові значення індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК $I_{ЯПі}$ відкритих змішаних систем першого діагностичного зрізу 2016 р.;

$I_{ЯП2}$ – емпіричні числові значення індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК $I_{ЯПі}$ відкритих змішаних систем другого діагностичного зрізу 2017 р.;

k – порядковий номер емпіричного значення індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК 34 відкритих змішаних систем.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Для визначення змін рівня (індексу) оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК, за результатами двох діагностичних зрізів (2016-2017 рр.), використаємо емпіричні дані Індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК ($I_{япi}$) (для прикладу ми використовуємо нормовані оцінки 3-го рівня складності комп'ютерної програми керування виготовленням деталі) згідно з вимогами відомчого стандарту інформаційних технологій підтримки оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК (табл. 2).

Прізвища та персональні величини індексу оцінювання якості підготовки операторів верстата з ЧПК, які брали участь у дослідній роботі, вимушено змінені відповідно до вимог Закону України «Про захист персональних даних»: «Персональні дані, крім знеособлених персональних даних, за режимом доступу є інформацією з обмеженим доступом» [12].

У порівняльному аналізі ми виходимо з припущення, якщо має місце зростання Індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК ($I_{япi}$) та зростання емпіричних значень Індексу якості виготовлення деталі ($I_{явдi}$), то між ними повинна виникати сильна кореляційна залежність, оскільки на інформаційну технологію підтримки оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК впливає підвищення рівня кваліфікації та рівень професійної компетентності особистості оператора верстата з ЧПК.

Таблиця 2

Емпіричні значення індексів оцінювання якості підготовки операторів верстата з ЧПК (1-й діагностичний зріз 2016 р., 2-й діагностичний зріз 2017 р.)

№ з/п	Прізвище оператора верстата з ЧПК	Емпіричні значення індексів оцінювання якості підготовки операторів верстата з ЧПК ($I_{яп}$) кожного окремого рівня складності керуючої програми виготовлення деталі							
		1-й рівень «Н»		2-й рівень «П»		3-й рівень «В»		4-й рівень «А, С»	
		$I_{яп}$ 2016 р.	$I_{яп}$ 2017 р.	$I_{яп}$ 2016 р.	$I_{яп}$ 2017 р.	$I_{яп}$ 2016 р.	$I_{яп}$ 2017 р.	$I_{яп}$ 2016 р.	$I_{яп}$ 2017 р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Мостовенко С.	2,44	3,12	2,46	3,11	2,35	3,08	2,26	3,03
2.	Сидорець С.	2,91	3,3	2,9	3,3	2,85	3,29	2,8	3,27
3.	Сінельник Д.	2,23	3,15	2,2	3,14	2,12	3,12	2,04	3,09
4.	Куліш М.	2,15	3,85	2,16	3,86	2,04	3,85	1,99	3,84
5.	Бобриков В.	2,98	3,17	2,97	3,16	2,93	3,26	2,88	3,1
6.	Колобок Е.	1,73	3,35	1,69	3,35	1,58	3,33	1,5	3,31
7.	Демиденко А.	2,68	3,49	2,66	3,5	2,6	3,49	2,53	3,47
8.	Дмитренко Д.	3,39	3,89	3,39	3,9	3,36	3,9	3,32	3,89
9.	Павленко К.	2,91	3,49	2,9	3,5	2,84	3,49	2,79	3,47
10.	Блажко А.	3,11	3,24	3,08	3,24	3,05	3,29	3,0	3,18
11.	Макеєв Д.	3,29	3,52	3,29	3,53	3,26	3,52	3,21	3,51
12.	Рижій І.	3,82	3,88	3,82	3,88	3,82	3,88	3,81	3,87
13.	Фомін К.	3,98	3,91	3,97	3,91	3,97	3,91	3,96	3,9
14.	Громов С.	3,29	3,54	3,35	3,55	3,44	3,54	3,28	3,53
15.	Кирилов В.	2,52	3,14	2,61	3,22	2,55	3,17	2,48	3,12
16.	Коваль І.	3,35	3,75	3,35	3,75	3,34	3,75	3,32	3,73
17.	Головаха М.	3,42	3,58	3,43	3,61	3,41	3,6	3,4	3,58
18.	Бобренко І.	3,47	4,36	3,46	4,37	3,44	4,38	3,41	4,38
19.	Петренко А.	3,91	4,19	3,91	4,2	3,9	4,2	3,9	4,19
20.	Ананченко О.	3,31	4,23	3,31	4,23	3,29	4,24	3,27	4,24
21.	Вірко Е.	3,63	3,84	3,63	3,84	3,62	3,83	3,6	3,82
22.	Ковальов Д.	1,82	3,52	1,81	3,61	1,68	3,59	1,59	3,56
23.	Онщенко А.	4,09	3,98	4,09	3,99	4,09	3,99	4,09	3,97
24.	Гришко А.	3,24	4,12	3,24	4,12	3,22	4,12	3,19	4,12
25.	Лубенський А.	3,3	4,23	3,33	4,25	3,31	4,25	3,28	4,25
26.	Дмитрівич Б.	3,31	3,94	3,33	3,69	3,31	3,68	3,28	3,66
27.	Зеленський С.	3,4	4,0	3,4	4,01	3,34	4,01	3,36	4,01
28.	Мельнечук Д.	2,64	4,23	2,62	4,25	2,54	4,25	2,47	4,25
29.	Птащенко А.	4,34	4,49	4,35	4,5	4,36	4,51	4,36	4,51

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30.	Медведчук К.	4,53	4,6	4,55	4,54	4,56	4,62	4,56	4,63
31.	Манько В.	4,35	4,48	4,36	4,48	4,37	4,49	4,37	4,49
32.	Юшемов А.	4,08	4,35	4,09	4,4	4,09	4,41	4,09	4,42
33.	Іванов Р.	4,39	4,52	4,4	4,53	4,4	4,6	4,4	4,55
34.	Щерба А.	4,02	4,28	4,02	4,34	4,02	4,34	4,02	4,34

Емпіричні значення індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК, на основі яких побудовані два порівняльних графіки, (рис. 3).

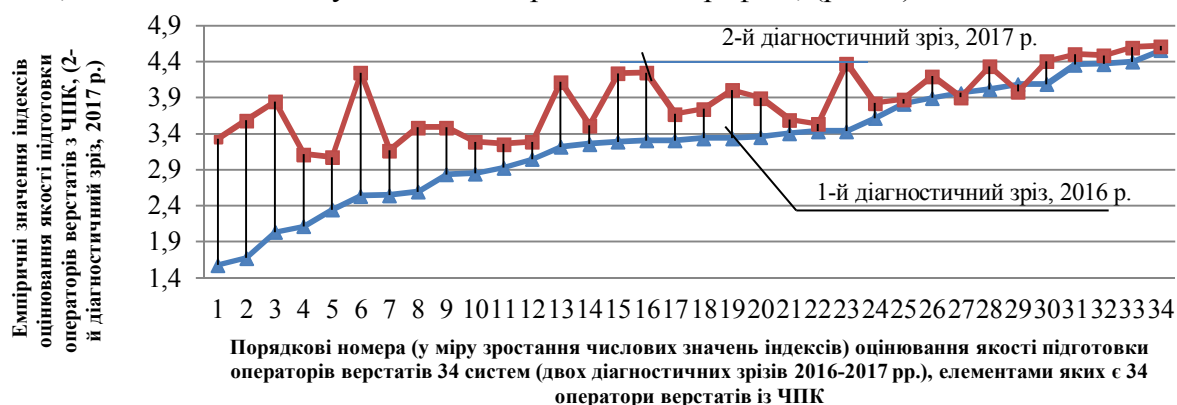


Рис. 3. Порівняльний аналіз рівнів оцінювання якості підготовки операторів верстатів із ЧПК 34 відкритих змішаних систем, оператори яких пройшли державну атестацію, за даними 1-го і 2-го діагностичних зрізів

Перевірка гіпотези про рівність або нерівність двох вибірок ($n = 34$) індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК отриманих після 1-го 2016 р. та 2-го 2017 р. діагностичних зрізів $H_0 = \{\overline{I_{ЯП2}} - \overline{I_{ЯП1}} = 0\}$, $H_1 = \{\overline{I_{ЯП2}} - \overline{I_{ЯП1}} \neq 0\}$ вираховуємо емпіричне значення t -критерію із [13] за вибраним рівнем значущості $\alpha=0,01$, що підтвердила різницю між двома рівнями якості підготовки оператора верстата з ЧПК.

Розрахунок за формулою (5) вказує, на скільки підвищився рівень оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК вибірки 34 систем ОВКП під впливом зростання рівня інформаційної технології – на 0,58.

Методом порівняння емпіричних значень індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК (2-й і 1-й діагностичні зрізи) фіксується їх зростання на 0,58: усереднене число – $19,93/34 = 0,58$.

Якщо поділити суму значення індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК (дані 2-го діагностичного зрізу) на відповідну суму даних 1-го діагностичного зрізу ($n = 34$), то рівень якості підготовки оператора верстата з ЧПК цієї вибіркової сукупності підвищується у 1,17 раза (співвідношення – $130,98/111,05 = 1,17$).

Методами регресійного аналізу встановлена залежність між емпіричними величинами Індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК ($I_{ЯПi}$) та Індексу якості виготовлення деталі ($I_{ЯВДi}$), що вказує на існування між ними залежності за показником зростання рівня їх сформованості.

Дослідження зростання емпіричного значення Індексу якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК ($I_{ЯВДi}$). У порівняльному аналізі величина зміни середніх емпіричних значень відхилення індексів якості виготовлення деталі ($\Delta \overline{I_{ЯВД}}$) фіксується за формулою різниці значення відхилення (6):

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

$$\Delta \bar{I}_{ЯВД} = \Delta y = \sum_{k=1}^{34} (I_{ЯВД2}^{(k)} - I_{ЯВД1}^{(k)}) / 34, \quad (6)$$

де $I_{ЯВД1}$ – емпіричні числові значення індексів якості виготовлення деталі $I_{ЯВД}$, відкритих змішаних систем першого діагностичного зрізу 2016 р.;

$I_{ЯВД2}$ – емпіричні числові значення індексів якості виготовлення деталі $I_{ЯВД}$, відкритих змішаних систем другого діагностичного зрізу 2017 р.;

k – порядковий номер емпіричного значення індексу якості виготовлення деталі інформаційної технології забезпечення функціонування 34 відкритих змішаних систем.

Для порівняльного аналізу числових величин Індексу якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК ($I_{ЯВД}$), які накопичені у базі даних за результатами двох діагностичних зрізів – 2016 р. та 2017 р. наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Індекси якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК

№ з/п	Прізвище, ініціали операторів верстата	Іявд, 2016 р.	Іявд, 2017 р.	№ з/п	Прізвище, ініціали операторів верстата	Іявд, 2016 р.	Іявд, 2017 р.
1	Мостовенко С.	5,1	5,35	18	Бобренко І.	4,55	6
2	Сидорець С.	4,3	5,45	19	Петренко А.	5,25	6,4
3	Сінельник Д.	4,95	5,9	20	Ананченко О.	5,45	6,4
4	Куліш М.	4,95	5,7	21	Вірко Е.	5,1	7,2
5	Бобриков В.	4,8	5,9	22	Ковальов Д.	4,35	6,1
6	Колобок Е.	4,8	6	23	Онщенко А.	5,25	5,8
7	Демиденко А.	4,15	6,05	24	Гришко А.Д.	5,45	6,35
8	Дмитренко Д.	5	5,75	25	Лубенський А.	5,45	6,4
9	Павленко К.	4,3	6,05	26	Дмитрієвич Б.	5,45	6,15
10	Блажко А.	4,9	5,95	27	Зеленський С.	5,5	6,8
11	Макеєв Д.	5	6,05	28	Мельничук Д.	4,65	6,4
12	Рижій І.	5,2	6,25	29	Птащенко А.	6,5	8,05
13	Фомін К.	5,2	6,25	30	Медведчук К.	7,05	7,6
14	Громов С.	5,4	6,05	31	Манько В.	7	7,55
15	Кирилов В.	4,7	5,35	32	Юшемов А.	6,85	8
16	Коваль І.	5	6,15	33	Іванов Р.	6,5	8,1
17	Головаха М.	5,05	6,1	34	Щерба А.	7,8	8

На підставі вихідних емпіричних числових величин Індексів якості виготовлення деталі ($I_{ЯВД}$) на верстатах із ЧПК двох діагностичних зрізів (2016-2017 рр.), будуюмо два порівняльні графіки (рис. 4). Для перевірки та доведення гіпотез про рівність або нерівність двох вибірок ($n = 34$) індексів якості виготовлення деталі отриманих після 1-го (2016 р.) та 2-го (2017 р.) діагностичних зрізів $H_0 = \{\bar{I}_{ЯВД2} - \bar{I}_{ЯВД1} = 0\}$, $H_1 = \{\bar{I}_{ЯВД2} - \bar{I}_{ЯВД1} \neq 0\}$ розраховуємо емпіричне значення t -критерію [13, с. 41]. Для вирішення цієї задачі спочатку обчислимо середні вибіркові значення індексів якості виготовлення деталі ($\bar{I}_{ЯВД1}$ та $\bar{I}_{ЯВД2}$) кожної відкритої системи, оператори яких пройшли атестацію, які складають: 1-й діагностичний зріз (2016 р.) $\bar{I}_{ЯВД1} = 5,32$ та 2-й (2017 р.) $\bar{I}_{ЯВД2} = 6,4$.

Також вираховуємо вибіркову дисперсію: 1-й діагностичний зріз (2016 р.) – $S^2(I_{ЯВД1}) = 0,74$; 2-й діагностичний зріз (2017 р.) – $S^2(I_{ЯВД2}) = 0,61$. Далі, використовуючи метод t -критерію, доводимо існування різниці між рівнями (індексами) якості виготовлення деталі (емпіричні дані 1-го 2016р. та 2-го 2017 р. діагностичних зрізів). Отримане емпіричне значення t -критерію становить $t_{емп} = 5,41$.

За вибраним рівнем значущості $\alpha=0,01$ знаходимо критичне значення $t_{кр}(0,01; 34 + 34 - 2) = 2,66$ та перевіряємо висунуті гіпотези $H_0 = \{\bar{I}_{ЯВД2} - \bar{I}_{ЯВД1} = 0\}$, $H_1 = \{\bar{I}_{ЯВД2} - \bar{I}_{ЯВД1} \neq 0\}$. Порівняльний аналіз рівнів (індексів) якості виготовлення деталі двох діагностичних зрізів підтверджує існування значної різниці між ними.



Рис. 4. Порівняльний аналіз рівнів якості виготовлення деталі 34 відкритих змішаних систем ОВКП, оператори яких пройшли державну атестацію

У результаті порівняння абсолютних величин емпіричних значень індексів якості виготовлення деталі інформаційних технологій забезпечення функціонування 34 відкритих змішаних систем 2-го діагностичного зрізу (2017 р.) з 1-м (2016 р.) фіксується значне зростання індексу якості виготовлення деталі на – 1,08.

Поділивши суму усереднених значень $I_{ЯВдi}$ другого діагностичного зрізу $\sum_{k=1}^{n=34} = 217,75$ на перший діагностичний зріз $\sum_{k=1}^{n=34} = 180,95$ отримуємо відповідь на запитання – у скільки разів зростає рівень якості виготовлення деталі. Рівень якості виготовлення деталі зростає у 1,2 раза.

Отже, зростання рівня (індексу) оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК на 0,58 корелюється з підвищенням рівня (індексу) якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК – на 1,08. Зростання індексу інформаційної технології підтримки оцінювання якості підготовки операторів верстатів у 1,17 раза, ймовірно, забезпечує підвищення індексу якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК – у 1,2 раза.

Залежність Індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК та Індексу якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК. У нашому порівняльному дослідженні вивчається зростання інформаційної технології підтримки оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК на зростання якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК. На основі отриманих емпіричних даних 2-го діагностичного зрізу (2017 р.) індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК та індексів якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК були сформовані ряди рангових оцінок індексів групи операторів ($n = 34$), що пройшли державну атестацію. Оскільки вони не підтримують умову нормального розподілу, то ми використали метод розрахунку коефіцієнта рангової кореляції Спірмена [14].

Експериментально встановлено, що за результатами 2-го діагностичного зрізу (2017 р.) значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена становить $\rho = 0,791$, де $\rho_{KR} = 0,334 < \rho = 0,791$. Отримана величина коефіцієнта рангової кореляції вказує на існування сильного зв'язку між емпіричними числовими величинами індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК та індексів якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК.

За результатами 1-го діагностичного зрізу (2016 р.) значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена становить $\rho = 0,744$, де $\rho_{KR} = 0,334$, що вказує на існування лише помірного зв'язку між індексами оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК та індексами якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Таким чином, нами доведена значущість тісноти зв'язку між рівнем та зростанням числових значень індексів оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК як елемента та об'єкта системи ОВКП та індексів якості виготовлення деталі на кожному типі верстатів із ЧПК.

Висновки відповідно до статті.

1. Сутність та структура оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК будується на взаємозв'язках оцінок продуктів діяльності оператора верстата з ЧПК, які оцінюють експерти, та нормованих оцінок відомчого стандарту, які узгоджуються з вимогами ринку.

2. Створена нами формула Індексу оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК як елемента соціальної підсистеми системи ОВКП спирається на методи експертного оцінювання продуктів його діяльності та методи їх об'єднання з нормованими оцінками, які формуються згідно з вимогами відомчого стандарту для кожного рівня складності (у нашому дослідженні виділені чотири) виготовлення деталі на верстаті з ЧПК.

3. Створена нами математична модель Індексу якості виготовлення деталі дає змогу вираховувати інтегроване числове значення на основі суми співвідношень оцінок усереднених коефіцієнтів її підсистем: соціальної (C_i), технічної (I_T) та інформаційної (I_I), які фіксують фактичні емпіричні значення оцінок та початкового, найменшого рівня усередненого числового коефіцієнта окремо для кожної підсистеми.

4. Результати дослідження показують сильну залежність між підвищенням кваліфікаційного розряду оператора верстата з ЧПК засобами державної атестації та зростанням оцінювання якості підготовки операторів верстата з ЧПК.

5. Доведено, що для дослідження тісноти зв'язків оцінок інформаційної технології підтримки оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК та якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК необхідно і достатньо використати обґрунтований комплекс методів: t -критерій Стюдента, коефіцієнт кореляції Спірмена.

6. Експериментально встановлено, що зростання рівня (індексу) оцінювання якості підготовки оператора верстата з ЧПК на 0,58 забезпечує підвищення рівня (індексу) якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК – на 1,08.

Зростання індексу інформаційної технології підтримки оцінювання якості підготовки операторів у 1,17 рази забезпечує підвищення індексу якості виготовлення деталі на верстаті з ЧПК – у 1,2 рази.

Список використаних джерел

1. Пути повышения качества профессиональной подготовки студентов : материалы междунар. науч.-практ. конф. Минск, 22–23 апреля 2010 г. / редкол.: О. Л. Жук (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2010. – 567 с.

2. Метод формирования набора индивидуальных тестовых заданий для оценки уровня подготовки оператора АСУ в процессе тренажной подготовки / В. Г. Чернов, М. А. Павленко, А. И. Тимочко, Д. Ю. Свистунов, Н. А. Королюк // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2014. – Вип. 2. – С. 75–80.

3. Пазынич Г. И. Некоторые особенности контроля качества подготовки судоводителей в современных условиях / Г. И. Пазынич // Рибне господарство України. – 2013. – № 4. – С. 45–52.

4. Канівець Т. М. Основи педагогічного оцінювання : [навчально-методичний посібник] / Т. М. Канівець. – Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. – 102 с.

5. Оценка деятельности экипажей летательных аппаратов при их подготовке на тренажерных системах / А. А. Стенин, О. М. Польшакова, Д. А. Гуменный, С. А. Стенин // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кропивницький : ЦНТУ, 2017. – Вип. 30. – С. 175–181.

6. Маца К. А. Системы: свойства и принципы организации: научная публикация / К. А. Маца. – Полтава : ПУЭТ, 2017. – 364 с.

7. Григораш О. В. Комплексный подход к решению проблемы улучшения качества подготовки студентов / О. В. Григораш // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 87. – С. 1–16.

8. Муштаев А. Ф. Фрезеровщик-расточник / А. Ф. Муштаев. – М. : Высшая школа, 1977. – 181 с.
9. Тиц С. Н. Человеческий фактор [Электронный ресурс] : электрон, учеб. пособие / С. Н. Тиц; Минобрнауки России, Самар, гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон, текстовые и граф. дан. (3,25 Мбайт). – Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
10. Лебедик М. П. Технологія атестації цілісного розвитку особистості на основі оцінок соціальної зрілості учасників педагогічного процесу : монографія / М. П. Лебедик. – Полтава : РВВ ПУСКУ, 2003. – 305 с.
11. Панина Н. В. Технология социологического исследования. Курс лекций / Н. В. Панина. – 2-е изд. – К. : Ин-т социологии НАН Украины, 2001. – 277 с.
12. Про захист персональних даних : Закон України від 01.06.2010 № 2297-VI (зі змінами і доповненнями) [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ed_2010_06_01/T102297.html.
13. Афанасьев В. В. Математическая статистика в педагогике : учебное пособие / В. В. Афанасьев, М. А. Сивов ; под науч. ред. д-ра ист. наук, проф. М. В. Новикова. – Ярославль : Изд-во ЯГПУ, 2010. – 76 с.
14. Сидоренко Е. В. Метод математической обработки в психологии / Е. В. Сидоренко. – СПб. : ОО «Речь», 2000. – 350 с.

References

1. Zhuk, O. L. (Ed.). (2010). *Puti povysheniia kachestva professionalnoi podgotovki studentov [Ways to improve the quality of professional training for students]*. Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia [International Scientific and Practical Conference] (Minsk, April 22-23, 2010). Minsk [in Russian].
2. Chernov, V. G., Pavlenko, M. A., Timochko, A. I., Svistunov, D. Iu., Koroliuk, N. A. (2014). Metod formirovaniia nabora individualnykh testovykh zadaniia dlia otsenki urovnia podgotovki operatora ASU v protsesse trenazhnoi podgotovki [Method of forming set individual test tasks for assessment level of operator training acs during simulator training]. *Systemi upravlinnia, navihatsii ta zviazku – Control systems, navigation and communication*, 2, 75–80 [in Russian].
3. Pazynich, G. I. (2013). Nekotorye osobennosti kontroliia kachestva podgotovki sudovoditelei v sovremennykh usloviakh [Specific features of the control management in training of navigators in up-to-date conditions]. *Rybne hospodarstvo Ukrainy – Fish Farming of Ukraine*, 4, 45–52 [in Russian].
4. Kanivets, T. M. (2012). *Osnovy pedahohichnoho otsiniuvannia [Fundamentals of pedagogical evaluation]*. Nizhyn: Vydavets PP Lysenko M. M. [in Ukrainian].
5. Stenin, A. A., Polshakova, O. M., Gumennyi, D. A., Stenin, S. A. (2017). Otsenka deiatelnosti ekipazhei letatelnykh apparatov pri ikh podgotovke na trenazhnykh sistemakh [Evaluation of the activity of crews of aircraft during their training on simulator]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of Kirovograd National Technical University. Engineering in agricultural production, branch engineering, automation*, 30, 175–181 [in Russian].
6. Matsa, K. A. (2017). *Sistemy: svoistva i printsipy organizatsii: nauchnaia publikatsiia [Systems: properties and principles of organization: a scientific publication]*. Poltava: PUET [in Russian].
7. Grigorash, O. V. (2013). Kompleksnyi podkhod k resheniiu problemy uluchsheniia kachestva podgotovki studentov [Comprehensive approach to the solution of the problem of improvement of quality of preparation of students]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU – Scientific journal of KubSAU*, 87, 1–16 [in Russian].
8. Tits, S. N. (2012). *Chelovecheskii faktor [Human factor]*. Samara. 1 el. opt. disk (CD-ROM) [in Russian].
9. Mushtaev, A. F. (1977). *Frezerovshchik-rastochnik [Milling-borer]*. Moscow: Vysshaia shkola [in Russian].
10. Lebedyk, M. P. (2003). *Tekhnolohiia atestatsii tsilisnoho rozvytku osobystosti na osnovi otsinok sotsialnoi zrilosti uchasnykiv pedahohichnoho protsesu [Technology of attestation of holistic personality development on the basis of assessments of social maturity of participants in the pedagogical process]*. Poltava: RVV PUSKU [in Ukrainian].
11. Panina, N. V. (2001). *Tekhnologiia sotciologicheskogo issledovannia. Kurs lektsii [Technology of sociological research. Lecture course.]*. (2d ed.) Kiev: In-t sotciologii NAN Ukrainy [in Russian].
12. Pro zakhyst personalnykh danykh [On Protection of Personal Data]. № 2297-VI (01.06.2010). Retrieved from http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ed_2010_06_01/T102297.html.
13. Afanasev, V. V., Sivov, M. A., Novikova M. V. (Ed.). (2010). *Matematicheskaiia statistika v pedagogike [Mathematical statistics in pedagogy]*. Iaroslavl: Izd-vo IaGPU [in Russian].

14. Sidorenko, E. V. (2000). *Metod matematicheskoi obrabotki v psikhologii [Method of mathematical processing in psychology]*. St. Petersburg: OO «Rech» [in Russian].

UDK 004.5

Alexander Laktionov

THE QUALITY INDICATIVE ASSESSMENT OF MACHINE TOOL OPERATOR TRAINING WITH NUMERICAL SOFTWARE CONTROL (CNC)

Urgency of the research. *The problem of increasing the quality of machine tool operator training as an indicator of its efficiency is relevant when increasing the productivity and quality of production of parts on CNC machine tools in the workshops of machine-building enterprises of Ukraine.*

Target setting. *Current research does not involve the consolidation of standardized assessments and expert assessments into integrated indicators, which complicates the assessment of the quality of the training of the operator of a CNC machine.*

Actual scientific researches and issues analysis. *The initial components of the concept of "quality" of the training of the operator of the CNC machine are the characteristics of the personality of the operator of the CNC machine tool (1) and the normalized estimates for its preparation, in accordance with the requirements of the departmental standard (2).*

Uninvestigated parts of general matters defining. *The use of standardized assessments, expert assessments, and the consideration of the components of the technical, information subsystem ensures the existence of a stable relationship between them.*

The research objective. *To suggest the formula for the quality evaluation index of the NC training machine operator and the formula for the quality index manufacturing details.*

The statement of basic materials. *We have established the relationship between the growing quality of operators training and the quality of manufacturing of parts on a CNC machine.*

Conclusions. *The effectiveness of the increase of quality of the NC machine operator training has been determined on the basis of the existing characteristics of the professional competence of the operator and comparative analysis of data of the 2nd and 1st diagnostic sections using a set of methods of mathematical statistics.*

Keywords: *quality evaluation index of the machine operator training; quality index of detail production with NC machine; open mixed system; expert evaluations; standardized evaluations; efficiency.*

Table: 3. Fig.: 4. References: 14.

Лактіонов Олександр Ігорович – аспірант, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка (Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, 36011, Україна).

Laktionov Alexander – PhD student, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University (24 Pershotravnevyi Av., 36011 Poltava, Ukraine).

E-mail: laktionov.alexander@ukr.net

УДК 629.735

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-152-160

Сергій Бойко, Євген Волканін,

Олексій Городній, Оксана Борисенко, Леонід Вершняк

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ГВИНТОКРИЛА

Актуальність теми дослідження. З огляду на те, що за останні десятиліття кількість нещасних випадків, збоїв обладнання, у тому числі нещасних випадків на вертольотах, становило понад десять, актуальною науково-практичною задачею являється діагностика і прогнозування змін стану авіаційного генератора.

Постановка проблеми. Основна мета цієї роботи – розробка нейронної мережі, яка буде враховувати основні технічні та експлуатаційні характеристики авіаційного генератора вертольота з метою діагностики і подальшого прогнозування його стану, скорочуючи час обчислень і збільшуючи рівень достовірності результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема інформаційної діагностики авіаційної техніки описана в роботах, в яких застосовуються різні методи визначення несправностей авіаційної техніки. Використання нейронних мереж у вирішенні завдань управління динамічними системами вивчається вченими і дослідниками, робота яких демонструє високий потенціал об'єднання двох обчислювальних технологій – штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів для вирішення задач синтезу інтелектуальних систем керування.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині є безліч підходів до проблеми діагностики складних динамічних об'єктів, у тому числі авіаційного генератора вертольота, найбільш поширеним з яких є інформаційна діагностика, одним із методів якої є використання нейронних мереж. Використання нейронних мереж управління дозволяє істотно усунути математичні проблеми аналітичного синтезу та аналізу властивостей досліджуваного об'єкта. Це пояснюється тим, що якість процесів управління в нейронних системах багато в чому залежить від фундаментальних властивостей багатопарових нелінійних нейронних мереж, а не від аналітичних розрахованих оптимальних законів. Багатопарові нейронні мережі мають ряд переваг, що дозволяє їх використовувати в задачах управління динамічними об'єктами.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є створення нейронної мережі, яка буде враховувати основні технічні та експлуатаційні характеристики авіаційного генератора вертольота.

Виклад основного матеріалу. При діагностуванні авіаційного генератора вертольота повинні враховуватися такі параметри: теплові параметри генератора, рівень шуму генератора, частота обертання генератора, опір ізоляції контурів ротора, струм зворотної послідовності, рівень вібрації генератора, биття валу генератора, відхилення напруги, коливання напруги, коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги, коефіцієнт n -ї гармонійної складової напруги непарного (парного) порядку, коефіцієнти нульової послідовності, відхилення частоти імпульсної напруги. Водночас необхідно швидко обчислити вихідний стан генератора в поточному режимі роботи для даної функції. Найбільш оптимальним методом вирішення проблеми є використання нейронних мереж, що скоротить час обчислень, підвищить рівень надійності результатів.

Висновки відповідно до статті. У статті виконано синтез нейрорегулятора прогнозу NN Prediction Controller для вирішення завдання автоматизації діагностики стану авіаційного генератора вертольота в реальних режимах роботи шляхом розробки моделі нейромережевої системи в Simulink програмного пакету MATLAB. Також встановлено, які параметри істотно впливають на якість регулювання та визначено оптимальні значення параметрів. Використання нейромережевої моделі для автоматизації діагностики стану авіаційного генератора вертольота забезпечило високу якість ідентифікації параметрів нейрорегулятора. Це дозволило вибрати оптимальні значення параметрів нейрорегулятора, що забезпечить високі динамічні характеристики системи діагностики стану авіаційного генератора вертольота.

Ключові слова: система контролю стану; авіаційний генератор; нейронні мережі.

Рис.: 5. Бібл.: 15.

Постановка проблеми. Зважаючи на те, що за останні десятиліття кількість авіаційних подій, відмов обладнання, у тому числі аварій вертольота Мі-8МТВ, становило не один десяток, актуальним науково-практичним завданням є діагностика і прогнозування змін стану роботи авіаційного генератора. Нині існує велика кількість підходів до проблеми діагностики складних динамічних об'єктів, до яких відноситься й авіаційний генератор вертольота, найбільш поширеним з яких є інформаційна діагностика [1-4], одним із методів якої є застосування нейронних мереж.

Застосування нейронних мереж для управління дозволяє значною мірою спростити математичні проблеми аналітичного синтезу та аналізу властивостей досліджуваного об'єкта. Це пояснюється тим, що якість процесів управління в нейронних системах більшою мірою залежить від фундаментальних властивостей багатопарових нелінійних нейронних мереж, а не від аналітично розрахованих оптимальних законів. Багатопарові нейронні мережі мають певні переваги, що зумовлює їх застосування в задачах управління динамічними об'єктами [5].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика інформаційної діагностики авіаційної техніки висвітлена в роботах [5-8], в яких застосовані різні методики визначення несправностей авіаційної техніки. Застосування нейронних мереж у вирішенні завдань управління динамічними системами виконуються вченими та дослідниками [7], у роботах яких продемонстровано високий потенціал об'єднання двох обчислювальних технологій – штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів для вирішення задач синтезу інтелектуальних систем керування.

Дослідження присвячені питанням управління нелінійними динамічними об'єктами за допомогою штучних нейронних мереж, у тому числі й у вітчизняних наукових центрах [8]. Особлива увага приділяється вдосконаленню методів навчання нейронних мереж, ідентифікації нелінійних нестационарних об'єктів за допомогою нейронних мереж, синтезу нейромережевих систем керування нелінійними об'єктами.

Визначення невирішених частин загальної проблеми. Таким чином, актуальним науково-практичним завданням є діагностика стану роботи авіаційного генератора вертольота.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка нейронної мережі, яка буде враховувати основні технічні та експлуатаційні характеристики авіаційного генератора вертольота, з метою діагностики та подальшого прогнозування його стану, при цьому скоротивши час розрахунків і збільшивши рівень достовірності результатів.

Виклад основного матеріалу. При діагностиці авіаційного генератора вертольота необхідно враховувати такі параметри: теплові параметри генератора (x_1), рівень шуму генератора (x_2), частота обертання генератора (x_3), електричний опір ізоляції ланцюгів ротора (x_4), струм зворотної послідовності (x_5), рівень вібрацій корпусу генератора (x_6), биття вала генератора (x_7), відхилення напруги ($\delta U, \%$) (x_8), розмах зміни напруги ($\delta U_t, \%$) (x_9), доза коливань напруги ($\psi, \%$) (x_{10}), коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги ($k_{nc} U, \%$) (x_{11}), коефіцієнт n -й гармонійної складової напруги непарного (парного) порядку ($kU_{(n)}, \%$) (x_{12}), коефіцієнт зворотної послідовності напруги ($k_2 U, \%$) (x_{13}), коефіцієнт нульової послідовності напруг ($k_0 U, \%$) (x_{14}), тривалість провалу напруги ($\Delta t_{пр}, c$) (x_{15}), імпульсна напруга ($U_{імп}, B$) (x_{16}), відхилення частоти ($\Delta f, Гц$) (x_{17}) [12]. При цьому, необхідно оперативно по заданій функції розрахувати вихідний стан генератора при поточному режимі роботи [9].

Найбільш оптимальним методом вирішення поставленого завдання є застосування нейронних мереж, що дозволить скоротити час розрахунків, при цьому збільшивши рівень достовірності результатів [10].

Приймається, що перераховані вище параметри утворюють багатозарову нейронну мережу з $n = 17$ входами й одним виходом (рис. 1). Кожен i -й нейрон першого шару ($i = 1, 2, \dots, m = 17$) має $n = 17$ входів, які прописані вагами $w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{ni}$.

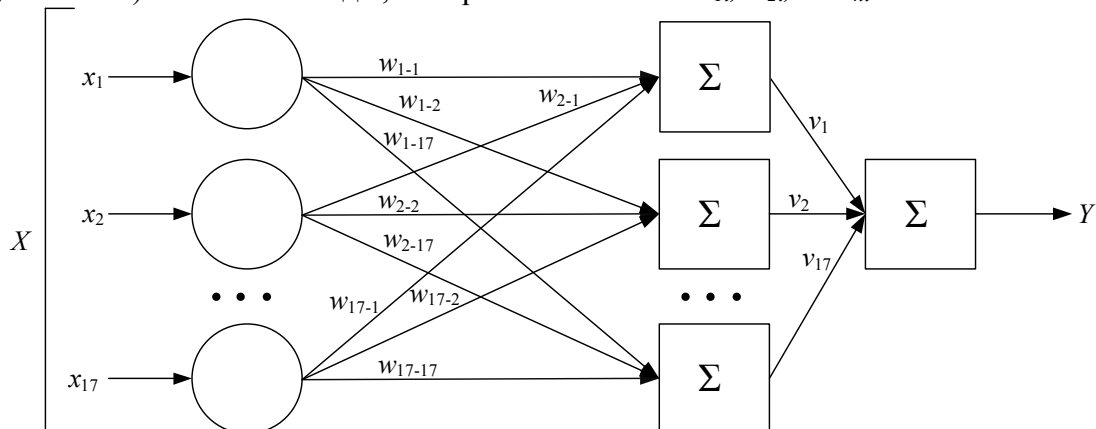


Рис. 1. Структура нейронної мережі для реалізації діагностики стану генератора вертольота

Подаючи на входи будь-які числа x_1, x_2, \dots, x_{17} , отримаємо на виході значення деякої функції $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_{17})$, яке є відповіддю (реакцією) мережі. Відомо, що відповідь мережі залежить як від вхідного сигналу, так і від значень її внутрішніх параметрів – ваг нейронів, тобто:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_{17}) = \sum_{i=1}^{m=17} v_i \sigma \left(\sum_{j=0}^{n=17} x_j w_{ji} \right), \quad (1)$$

де $F(x_1, x_2, \dots, x_{17})$ – будь-яка безперервна функція, певна на обмеженій множині.

$$\sigma(s) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha s}}, \quad (2)$$

де $\sigma(s)$ – сигмоїдальна функція.

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{2n+1} g_i \left(\sum_{j=1}^n h_{ij}(x_j) \right). \quad (3)$$

Застосувавши теорему Колмогорова (3), де g_i і h_{ij} – безперервні функції, причому h_{ij} не залежить від функції F для змінних, визначено, що для реалізації функції змінних досить операцій підсумовування і композиції функції однієї змінної.

Оскільки найважливішою властивістю нейронних мереж є їх можливість навчатися на основі даних про об'єкт дослідження й у результаті навчання підвищувати свою функціональність, пропонується застосувати адаптивний крок навчання нейронної мережі, який реалізується у вигляді градієнтного методу [11], в якому зміна ваг описується залежністю:

$$\vec{w}_{k+1} = \vec{w}_k + \eta_k p_k, \quad (4)$$

де η_k – розмір кроку на k -ій ітерації, p_k – вектор, який задає напрямок руху й обчислюється за формулою:

$$\vec{p}_k = \vec{g}_k + \sum_{i=1}^{\min(k-1, m)} \beta_i \vec{g}_{k-1}, \quad (5)$$

де g_j – вектор, який задає напрямок антиградієнта на j -ій ітерації; β_i – коефіцієнт, який визначає вагу i -го градієнта; m – визначає кількість запам'ятовуваних градієнтів; k – порядковий номер поточної ітерації.

Градієнтний метод навчання з (5) виходить при $m = 0$, а методи спряжених градієнтів, які найбільш часто використовуються при навчанні нейронних мереж, виходять шляхом підсумовування всіх попередніх напрямків (при $m = \infty$).

Такий метод зводить до мінімуму втручання людини в навчання нейронних мереж, спрощуючи їх налаштування, оскільки не кожен користувач нейромережових технологій володіє знаннями у сфері методів оптимізації.

Навчання ж нейронної мережі з постійним кроком здійснюється за допомогою правила Хебба, яке полягає в тому, що навчання відбувається в результаті збільшення сили зв'язку (синаптичної ваги) між одночасно активними нейронами. З огляду на вищевказане часто використовувані в мережі зв'язки посилюються, що пояснює феномен навчання шляхом повторення і звикання. Правило навчання Хебба записується в такий спосіб [12]:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + x_i y_j, \quad (6)$$

де t – час; x_i і y_j – відповідно вихідне значення i -го і j -го нейронів, при цьому передбачається, що $w_{ij}(0) = 0$.

Постійний крок навчання нейронної мережі також реалізується за допомогою процедури навчання Розенблатта (навчання персептрона), яка характеризується тим, що

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вагові коефіцієнти нейронної мережі змінюються тільки в тому випадку, якщо вихідна реакція мережі y не збігається з еталонною d , і містить швидкість навчання a і не змінює вагові коефіцієнти, якщо вихідні сигнали мережі збігаються з еталонними. Правило навчання Розенблатта в загальній формі має вигляд [15]:

$$W(t+1) = W(t) - a(y-t)X = W(t) + a(t-y)X. \quad (7)$$

Для навчання розробленої нейронної мережі недостатньо сформулювати навчальні набори входів-виходів. Необхідно також визначити помилку прогнозувань мережі. Помилка мережі представляється у вигляді функції від синаптичних коефіцієнтів і мінімізується одним з градієнтних методів. Традиційно використовують середньоквадратичну помилку (підсумовування проводиться за всіма виходами):

$$E = \frac{1}{2}(y-d)^2, \quad (8)$$

де y – вихід нейронної мережі, d – бажане значення виходу.

Таким чином, застосування адаптивного алгоритму є більш гнучким рішенням при навчанні розробленої нейронної мережі.

Синтез нейромережевої системи управління генератора вертольота проводився за допомогою пакета прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB.

Для вирішення поставленого завдання було вибрано регулятор NN Predictive Controller, який використовує модель керованого об'єкта у вигляді нейронної мережі для того, щоб спрогнозувати його майбутню поведінку. Крім того, регулятор обчислює сигнал управління, який оптимізує поведінку об'єкта на заданому інтервалі часу. Отже, проектування нейрорегулятора складається з двох етапів: етап ідентифікації авіаційного генератора як керованого об'єкта й етапу синтезу закону керування. На етапі ідентифікації розробляється модель керованого об'єкта у вигляді нейронної мережі, яка на етапі синтезу використовується для синтезу регулятора [13].

На рис. 2 показана структурна схема запропонованої нейромережевої системи діагностики стану авіаційного генератора вертольота, розроблена в MATLAB Simulink. Ця структура включає блок керованого об'єкта (Subsystem) і блок регулятора NN Predictive Controller, а також блоки генерації еталонного ступеневої сигналу з випадковою амплітудою Random Reference, блок побудови графіків.

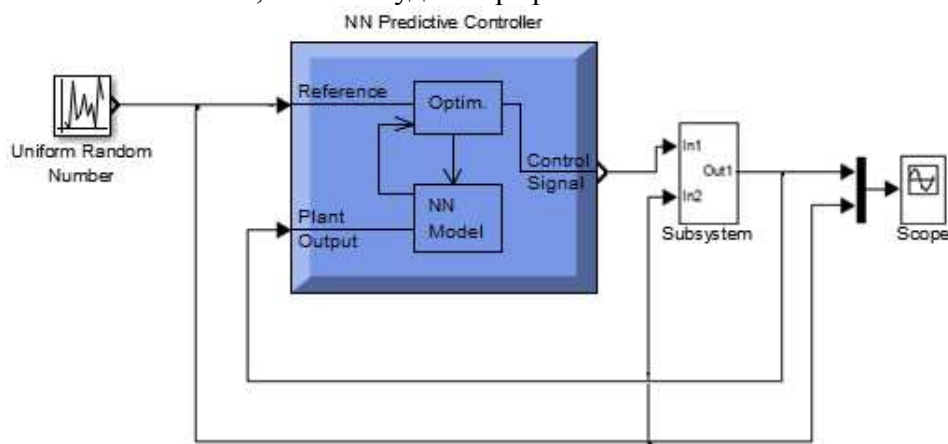


Рис. 2. Система діагностики стану авіаційного генератора вертольота з нейрорегулятором NN Predictive Controller

Програма генерації навчальної послідовності генерує навчальні дані шляхом впливу ряду випадкових східчастих сигналів на модель керованого об'єкта (генератора). Графіки вхідного і вихідного сигналів моделі автоматизованої системи діагностики стану авіаційного генератора вертольота виводяться на екран (рис. 3). Після закінчення генерації навчальної послідовності передбачається або прийняти згенеровані дані, або відмовитися від них.

Елементи нейронної мережі відповідають таким параметрам: розмір прихованого шару $S = 17$, кількість елементів запізнювання на вході моделі $N_i = 2$, кількість елементів запізнювання на виході моделі $N_j = 5$.

Відомо, що в процесі навчання нейронної мережі вектори входу представляються як числові масиви вибірок, що відповідає груповому представленню даних. Навчання здійснюється з використанням алгоритму Льовенберг-Марквардта. Динаміка зміни помилки навчання, а також перевірки на контрольній і тестовій множині відображаються у вікні, зображеному на рис. 4. Після завершення навчання результати відображаються на графіках, як це показано на рис. 5.

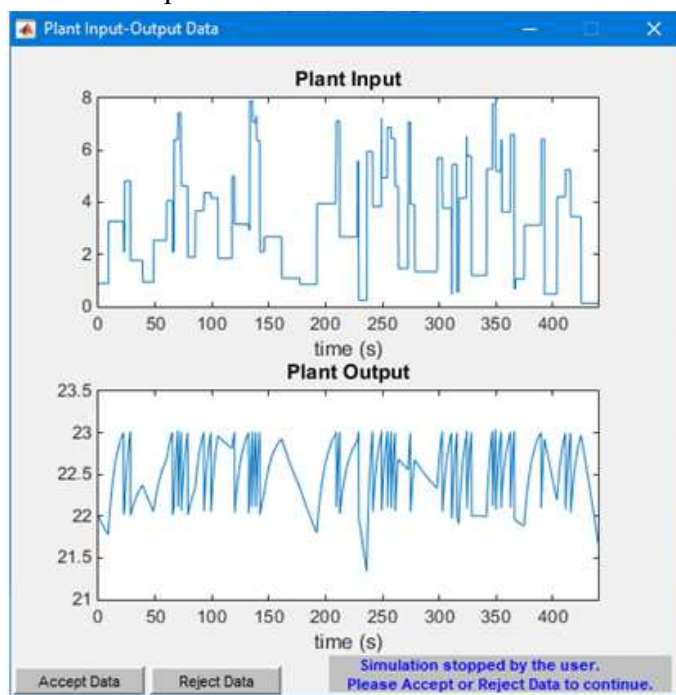


Рис. 3. Графіки входного і вихідного сигналів при генерації навчальної послідовності моделі автоматизованої системи діагностики стану авіаційного генератора вертольота

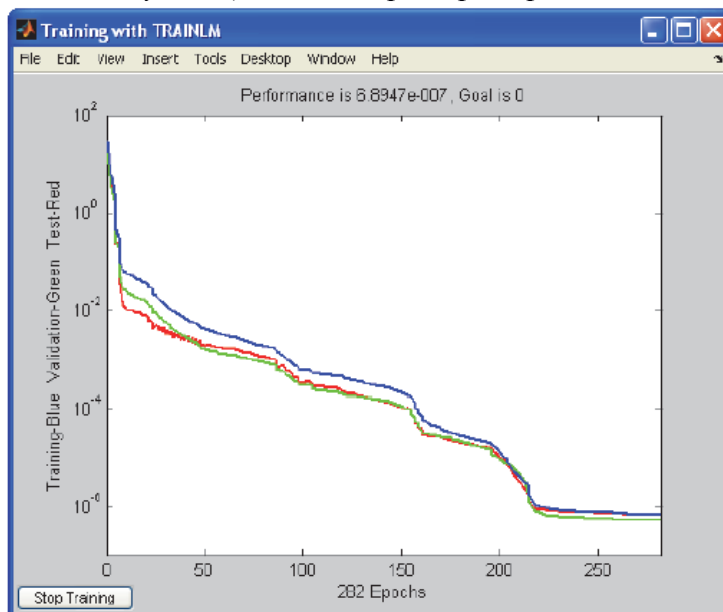


Рис. 4. Вікно контролю процесу навчання моделі автоматизованої системи діагностики стану авіаційного генератора вертольота

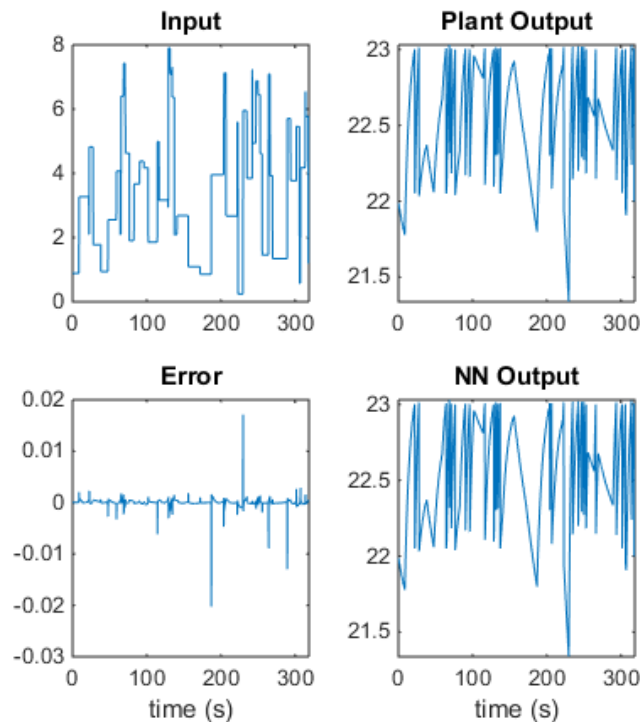


Рис. 5. Результати тренування моделі автоматизованої системи діагностики стану авіаційного генератора вертольота

Значення N_2 і γ істотно впливають на роботу системи [5]. При їх збільшенні точність зростає, однак обсяг обчислень на кожному такті дискретності істотно збільшується. Для розв'язуваної задачі оптимальні значення знаходяться в межах $N_2 = 15 \dots 25$ і $\gamma = 2 \dots 3$.

При ідентифікації авіаційного генератора найбільш важливим питанням є вибір кількості нейронів прихованого шару S . При малій кількості нейронів мережа не може виконувати поставлене завдання, а при великому – спостерігається явище перенавчання і зростає обсяг обчислень. Для цієї задачі оптимальні значення $S = 9 \dots 14$, при цьому помилка навчання, а також помилка ε на контрольній і тестовій множині не перевищує $10^{-5} \dots 10^{-4}$.

Успіх тренування мережі великою мірою залежить від довжини навчальної вибірки N_B і такту дискретності, що визначає інтервал між двома послідовними моментами знімання даних. Оптимальним у розв'язуваної задачі є: $N_B = 10000$ і $\Delta t = 0,05$ с. При збільшенні Δt знижується точність, яка визначається як різниця між помилкою навчання і помилкою, отриманою на контрольній і тестовій множині. Зменшення Δt викликає необхідність відповідного збільшення N_B і, як наслідок, значно збільшується час тренування мережі, при цьому істотного зниження ε не спостерігається [14].

Для отримання представницької вибірки необхідно правильно задати максимальне і мінімальне значення інтервалу ідентифікації. Розмір їх залежить від параметрів об'єкта Subsystem, у цій роботі прийнято $t_{\min} = 4 \dots 5$ с, $t_{\max} = 10 \dots 20$ с.

При синтезі моделі нейромережевої системи задається кількість елементів запізнювання на вході z_1 та виході z_2 моделі. Найкращі результати отримані при $z_1 = 2$, $z_2 = 2 \dots 4$.

Результат тренування мережі залежить від початкового значення ваг нейронної мережі w_{ij} і кількості циклів навчання $N_{\mathcal{U}}$. Для досягнення глобального мінімуму процес навчання необхідно повторювати багато разів при різних початкових значеннях w_{ij} і величини $N_{\mathcal{U}}$. У цій роботі для кожного варіанта мережі вибиралося кілька десятків початкових точок розрахунку. Кількість циклів навчання, після закінчення яких помилка навчання переставала зменшуватися, становило 300 ... 400 [15].

Висновки відповідно до статті. У статті виконано синтез нейрорегулятора прогнозу NN Prediction Controller для вирішення завдання автоматизації діагностики стану авіаційного

генератора вертольота в реальних режимах роботи шляхом розробки моделі нейромережевої системи в Simulink програмного пакета MATLAB. Також встановлено, які параметри істотно впливають на якість регулювання та визначено оптимальні значення їх параметрів.

Використання нейромережевої моделі для автоматизації діагностики стану авіаційного генератора вертольота забезпечило підвищення якості ідентифікації параметрів нейрорегулятора. Це дозволило вибрати оптимальні значення параметрів нейрорегулятора, що забезпечило високі динамічні характеристики системи діагностики стану авіаційного генератора вертольота.

Список використаних джерел

1. Синчук О. Н. Нейронные сети и управление процессом управления электроснабжением объектов от комбинированных электрических сетей / О. Н. Синчук, С. Н. Бойко // *Технічна електродинаміка*. – 2014. – № 5. – С. 53–55.
2. Машошин О. Ф. Информационное обеспечение процессов диагностирования авиационной техники / О. Ф. Машошин, А. В. Бигус // *Научный вестник МГТУ ГА*. – 2002. – № 49. – С. 44–48.
3. Машошин О. Ф. Диагностика авиационной техники : учебное пособие / О. Ф. Машошин. – М. : МГТУ ГА, 2007. – 141 с.
4. Синтез нейрорегулятора NN Predictive Controller для управління трьохмасовою електро-механічною системою / Т. Ю. Василець, О. О. Варфоломійєв, Р. В. Тютюн, Ю. О. Алфьоров, А. О. Власов // *Системи обробки інформації*. – 2017. – Вип. 3 (149). – С. 88–95.
5. Машошин О. Ф. Инструментальные методы диагностики авиационной техники : учебное пособие / О. Ф. Машошин. – М. : МГТУГА, 2010. – 88 с.
6. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Книга 4 : учебное пособие для вузов / В. А. Головкин. – М. : ИПРЖР, 2001. – 256 с.
7. Клепиков В. Б. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами / В. Б. Клепиков, К. В. Махотило, С. А. Сергеев // *Электротехника*. – 1999. – № 5. – С. 2–6.
8. Нейро-фаззи регулятор для электроприводов с проскальзыванием / В. Б. Клепиков, А. В. Клепиков, О. Ю. Глебов, П. Л. Моисеенко, И. С. Полянская // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – 2002. – Т. 4, № 9. – С. 47–52.
9. Руденко О. Г. Основы теории искусственных нейронных сетей / О. Г. Руденко, Е. В. Бодянский. – Х. : ТЕЛТЕХ, 2002. – 317 с.
10. Лиля В. Б. Алгоритм и программная реализация адаптивного метода обучения искусственных нейронных сетей / В. Б. Лиля // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 55–59.
11. Пивоваров В. А. Применение аппарата теории статистической классификации к задачам диагностирования авиационной техники / В. А. Пивоваров, О. Ф. Машошин // *Научный вестник МГТУ ГА*. – 1999. – № 20. – С. 25–30.
12. Острейковский В. А. Теория надежности / В. А. Острейковский. – М. : Абрис, 2012. – 463 с.
13. Input Current Parameters Analysis for PFC based on Quasi-Resonant and Conventional Boost / Denisov Y. O., Stepenko S. A., Gorodny A. N., Kravchenko V. A. // *International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology(ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE, 2014*. – P. 393–397.
14. Switch operation power losses of quasi-resonant pulse converter with parallel resonant circuit / Denisov Y., Gorodny A., Gordienko V., Yershov R., Stepenko S., Kostyrieva O., Prokhorova A. // *International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology(ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE, 2016*. – P. 327–332.
15. Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies / Gorodny O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. // *Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. – 2017. – P. 232–235.

References

1. Sinchuk O. N., Boiko S. N. (2014). Neironnyye seti i upravlenie protcessom upravleniia elektrosnabzheniem obektov ot kombinirovannykh elektricheskikh setei [Neural networks and management of the process of power supply control of facilities from combined electric networks]. *Tekhnichna elektrodinamika - Technical electrodynamic*, 5, 53-55 [in Russian].
2. Mashoshin, O. F., Bigus, A. V. (2002). Informatsionnoe obespechenie protcessov diagnostirovaniia avia-tcionnoi tekhniki [Information support of processes of diagnosing aviation equipment]. *Nauchnyi vestnik MGTU GA – Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University*, 49, 44–48 [in Russian].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Mashoshin, O. F. (2007). *Diagnostika aviatcionnoi tekhniki [Diagnostics of Aviation Equipment]*. Moscow: In MSTU [in Russian].
4. Vasylets, T. Yu., Varfolomiiev, O. O., Tiutiun, R. V., Alforov, Yu. O., Vlasov, A. O. (2017). Syntez neirorehuliatora NN Predictive Controller dlia upravlinnia trokhmasovoiu elektromekhanichnoiou systemoiu [Synthesis of the NN Predictive Controller for controlling a three-mass electromechanical system]. *Systemy obrobky informatsii – Information processing systems*, 3 (49), 88–95 [in Ukrainian].
5. Mashoshin, O. F. (2010). *Instrumentalnye metody diagnostiki aviatsionnoi tekhniki [Instrumental methods of aviation equipment diagnostics]*. Moscow: In MSTU [in Russian].
6. Golovko V. A. (2001). Neironnye seti: obuchenie, organizatsiia i primenenie. Kniga 4 [Neural networks: training, organization and application. Book 4]. Moscow: In IPRZhR [in Russian].
7. Klepikov, V. B., Mahotilo, K. V., Sergeev, C. A. (1999). Primenenie metodov neironnykh setei i geneticheskikh algoritmov v reshenii zadach upravleniia elektroprivodami [Application of methods of neural networks and genetic algorithms in solving problems of control of electric drives]. *Elektrotehnika – Electrical Engineering*, 5, 2–6 [in Russian].
8. Klepikov, V. B., Klepikov, A. V., Glebov, O. Iu., Moiseenko P. L., Polianskaia, I. S. (2002). Neuro-fazzi regulator dlia elektroprivodov sproskalzyvaniem [Neuro-Fuzzy controller for electric drives with slippage]. *Visnyk Natsionalnoho tehnicnoho universytetu «Kharkivskiy politechnychnyi instytut» – Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 9, 47–52 [in Russian].
9. Rudenko, O. G. (2002). *Osnovy teorii iskusstvennykh neironnykh setei [Fundamentals of the theory of artificial neural networks]*. Kharkiv: TELETEKH [in Russian].
10. Lila, V. B. (2012). Algoritm i programmaia realizatsiia adaptivnogo metoda obucheniia iskusstvennykh neironnykh setei [Algorithm and software implementation of the adaptive method of learning artificial neural networks]. *Inzhenernyi vestnik Dona – The engineer's messenger of the Don*, 1, 55–59 [in Russian].
11. Pivovarov, V. A. (1999). Primenenie apparata teorii statisticheskoy klassifikatsii k zadacham diagnostirovaniia aviatsionnoi tehniky [The application of the apparatus of the theory of statistical classification to the problems of diagnosing aviation equipment]. *Nauchnyi vestnik MGTU GA – Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University*, 20, 25–30 [in Russian].
12. Ostreikovskii, V. A. (2012). *Teoriia nadezhnosti [Theory of reliability]*. Moscow: Abris [in Russian].
13. Denisov, Y. O., Stepenko, S. A., Gorodny, A. N., Kravchenko, V. A. (2014). Input Current Parameters Analysis for PFC based on Quasi-Resonant and Conventional Boost. *International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE*.
14. Denisov, Y., Gorodny, A., Gordienko, V., Yershov, R., Stepenko, S., Kostyrieva, O., Prokhorova, A. (2016). Switch operation power losses of quasi-resonant pulse converter with parallel resonant circuit. *International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE*.
15. Gorodniy, O., Gordienko, V., Stepenko, S., Boyko, S., Sereda, O. (2017). Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies. *Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*.

UDC 629.735

*Serhii Boiko, Yevhen Volkanin, Oleksiy Gorodny, Oksana Borysenko, Leonid Vershniak***APPLICATION OF NEURAL NETWORKS WITH AUTOMATION OF DIAGNOSTICS OF THE HELICOPTER AVIATION GENERATOR STATUS**

Urgency of the research. Based on the fact that over the past decades, the number of accidents, equipment failures, including accidents of helicopters amounted to more than a dozen, the urgent scientific and practical task is to diagnose and predict changes in the state of the aviation generator.

Target setting. The main goal of this work is the development of a neural network that will take into account the main technical and operational characteristics of the helicopter's aviation generator, with a view to diagnosing and further predicting its state, while reducing the computation time and increasing the level of reliability of the results.

Actual scientific researches and issues analysis. The problem of informational diagnostics of aviation equipment is described in papers in which various methods for determining malfunctions of aviation equipment are applied. The use of neural networks in solving problems of managing dynamic systems is performed by scientists and researchers, whose work demonstrates the high potential of combining two computational technologies - artificial neural networks and genetic algorithms for solving problems of the synthesis of intelligent control systems.

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, there are a large number of approaches to the problem of diagnosing complex dynamic objects, which include the helicopter's aviation generator, the most common of which is infor-

mation diagnostics, one of the methods of which is the use of neural networks. The use of neural control networks makes it possible to substantially remove the mathematical problems of analytical synthesis and analysis of the properties of the object under study. This is explained by the fact that the quality of control processes in neural systems largely depends on the fundamental properties of multilayer nonlinear neural networks, and not on analytically calculated optimal laws. Multi-layer neural networks have a number of advantages, which leads to their use in the tasks of managing dynamic objects.

The research objective. The purpose of this work is the development of a neural network that will take into account the basic technical and operational characteristics of the helicopter's aviation generator.

The statement of basic materials. When diagnosing a helicopter's aviation generator, the following parameters should be taken into account: generator thermal parameters, generator noise level, generator rotation frequency, insulation resistance of rotor circuits, negative sequence current, generator vibration level, generator shaft beating, voltage deviation, voltage swing, voltage fluctuation dose, non-sinusoid coefficient of the voltage curve, coefficient of a harmonic component of the voltage of an odd (even) order, coefficient reverse voltages sequence coefficient zero sequence voltages, the voltage dip duration, the pulse voltage frequency deviation. At the same time, it is necessary to quickly calculate the output state of the generator in the current mode of operation for a given function.

The most optimal method for solving the problem is the use of neural networks, which will reduce the computation time, while increasing the level of reliability of the results

Conclusions. The article synthesizes the NN Prediction Controller neuro-regulator to solve the problem of automating the diagnostics of the state of the helicopter's aviation generator in real operation modes by developing the neural network system model in Simulink of the MATLAB software package. It was also established which parameters significantly influence the quality of regulation and the optimal values of the parameters are determined.

The use of the neural network model for automating the diagnostics of the state of the helicopter's aviation generator provided a high quality identification of the parameters of the neuro-regulator. This made it possible to choose the optimal values of the parameters of the neuro-regulator, which ensured high dynamic characteristics of the system for diagnosing the state of the helicopter's aviation generator.

Keywords: state monitoring system; aircraft generator; neural networks.

Fig.: 5. References: 15.

Бойко Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

Boiko Serhii – PhD in Technical Sciences, teacher of the Department of Energy Supply and Management Systems, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6 Peremohy Str., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

E-mail: bsn1987@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

Scopus Author ID: 56417478200

Волканін Євген Євгенійович – кандидат технічних наук, завідувач кафедри енергозабезпечення і систем управління, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

Volkanin Yevhen – PhD in Technical Sciences, Head of the Department of Energy Supply and Management Systems, teacher of the Department of Energy Supply and Management Systems, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6 Peremohy Str., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

E-mail: science.nv.klknau@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3507-1987>

Городній Олексій Миколайович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Gorodny Oleksiy – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (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 Author ID: 55327980200; 56338229500; 57191829796.

Борисенко Оксана Миколаївна – спеціаліст I категорії, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

Borysenko Oksana – specialist category I, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6 Peremohy Str., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

E-mail: o.borisenko.klk@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7858-1349>

Вершняк Леонід Володимирович – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Vershniak Leonid – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: L_Vershnyak@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7178-7339>

Patrik Šarga, Jakub Cocuľa

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SMART HOME MODEL

Urgency of the research. The expansion of smart home systems is slower than was expected. One of the biggest obstacles to the mass expansion of smart homes is the high price of devices commonly available on the market. Home automation is not sufficiently widespread among people, not only for the high price, but also because the available systems do not meet users' perceptions of how they should work and also due to users' fear of security risks. For these reasons, when designing a new smart home system, it is a good idea to perform the initial testing on the model.

Target setting. Our goal was to design a model of the original low-cost smart home system, which would allow testing, tuning, and refinement of the home automation system before it is put into use. Such a model could also be used in the learning process, while students can test the proposed smart home systems on the model.

Actual scientific researches and issues analysis. When designing the model and preparing this paper, we took into account both current sources – publications and papers dealing with the current state of smart home systems as well as existing smart home solutions, which are widely available on the market.

Uninvestigated parts of general matters defining. The implementation of the proposed model into real-life operation was not realized during the research for this paper.

The research objective. The goal of the research was to model a low-cost, reliable, smart home system.

The statement of basic materials. For effective research and solution of the task of smart home system is important to create adequate model, which copies a real smart home. For our solution we used a tiny and affordable computer Raspberry Pi3, which was connected through GPIO to external sensors for light, temperature etc., operation was performed in the Python programming language and for the creation of user interface was used Cayenne platform for Android-operated smartphones.

Conclusions. Our solution implemented the Raspberry Pi microcomputer, which was connected with the external hardware. The outputs also included the creation of a physical model of the smart home system. Designed model can meet the savings, comfort and safety requirements of every household. The stability and functionality of the system designed for the model has been verified in a long-term testing. No errors in stability have been demonstrated.

Keywords: smart home; model; Raspberry Pi; Python; Cayenne.

Fig.: 6. References: 10.

The current state of smart home. A smart home can be briefly described as a residence that uses internet-connected devices to automate and monitor in-home systems. Smart home technology (often also referred as „home automation“) provides homeowners comfort, healthcare, energy efficiency and security by allowing them to control smart devices, often by a smart home app on their smartphone or other networked device [1]. Communication protocol such as RFID, NFC, ZigBee, Z-wave, Wi-Fi, Bluetooth in combination with various sensors for temperature, humidity, PIR, smoke and many others can create a mutually interconnected system (Fig. 1).

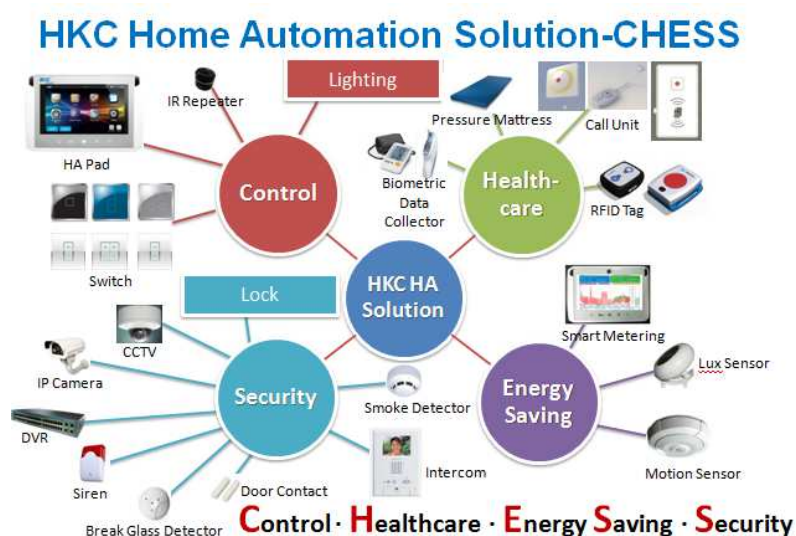


Fig. 1. Home automation solution [5]

Such a system is a combination of a sensor, a programmable device, and a transmission device that also provides a sensor output. Data from the sensor is converted into a comprehensible and processable format, then stored and compared to the predefined value. Based on this, the system will evaluate what operation to perform to meet the regulatory requirements. Information on the currently running action can be displayed to the user [2], [3], [4].

The expansion of smart home systems is slower than was expected. One of the biggest obstacles to the mass expansion of home automation is the high price of devices available on the market.

Our goal was to design a model of the original low-cost smart home system. The model would allow testing, tuning, and refinement of the home automation system before it is put into use. Such a model could also be used in the learning process, while students can test the proposed smart home systems on the model. The proposed system is based on the microcomputer Raspberry Pi, which enables the creation of a low-cost smart home.

Design of the model of the smart home system. In the current market situation, there are several options to make a smart home. The basic building element is the control unit, which is a brain of all operations. When choosing the right control unit, we draw from predefined requirements, e.g. price, programming difficulty, assembly, lifespan, connectivity, hardware variability, update, etc. Based on these criteria, we decided to implement the smart home design by using the Raspberry Pi [6], [7].

Raspberry Pi3 (further referred as “RPI”) (Fig. 2) is the third generation of RPi. It is a microcomputer based on the ARM platform. It has a small size, about a credit card size. RPi is an affordable programmable device, price level is approximately 50 €.

RPi is powered by a 3A power adapter with a minimum power consumption of 2.5W to 3.5W. It can also be connected with AAA batteries. Thanks to that it can be independent from the electrical network, although with limited battery life. RPi has four USB ports that allow sufficient connectivity for external devices. The monitor can be connected through the full-size HDMI port, so RPi can serve also as a personal computer. MIPI DSI display port enables connection of a RPi touch screen display. The image and video transmission between camera and RPi is ensured through MIPI CSI camera port. RPi also has 4-pole stereo output and composite video port. The Internet connection is via Ethernet or Wi-Fi. Additional devices can be also connected via Bluetooth. In our solution we used also 40-pins GPIO (general-purpose input/output) header. Any of the GPIO pins can be designated as an input or output pin and used for a wide range of purposes. All above-mentioned connectors were used in our solution for the model of the smart home system.

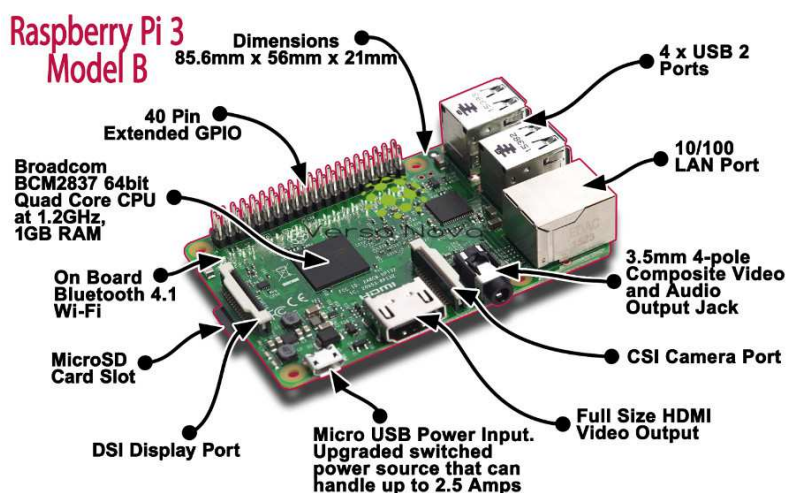


Fig. 2. Raspberry Pi3 [8]

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

The Raspberry Pi Foundation recommends the use of Raspbian, a Debian-based Linux operating system [9]. Other third-party operating systems available via the official website include Ubuntu MATE, Windows 10 IoT Core, RISC OS and specialised distributions for the Kodi media centre and classroom management. Many other operating systems can also run on the Raspberry Pi.

In our design of the model of the smart home system, we have connected GPIOs with a number of necessary sensors to control lighting, heating, shading, security, power management and entertainment. For each single smart home function, an individual connection scheme was designed and the control has been programmed in Python environment. Example of source code used for thermal regulation is shown in Fig. 3. In Fig. 4 we can see an example scheme of modeling intelligent shading.

```
import time
import RPi.GPIO as GPIO

#definovanie pinov R-cervena, G-zelena, B-modra
ledR = 14
ledG = 15
ledB = 18

#GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(ledR, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ledG, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ledB, GPIO.OUT)

#pociatocny stav LED, vsetky svietia
GPIO.output(ledR, 1)
GPIO.output(ledG, 1)
GPIO.output(ledB, 1)
try:
    while 1:
        tempStore = open("/sys/bus/w1/devices/28-031655507fff/w1_slave")
        #ID zariadenia
        data = tempStore.read()
        tempStore.close()
        tempData = data.split("\n")[1].split(" ")[9]
        temperature = float(tempData[2:])
        temperature = temperature/1000
        print ("teplota")

        if temperature < 20: #teplota nizsia ako 20 stupnov, spustenie
            kurenie
                GPIO.output(ledR, 1)
                GPIO.output(ledG, 1)
                GPIO.output(ledB, 0)

            if temperature > 20 and temperature < 24: #zdrziavanie teploty
                medzi 20 a 24 stupnov
                    GPIO.output(ledR, 1)
                    GPIO.output(ledG, 0)
                    GPIO.output(ledB, 1)

            if temperature > 24: #teplota nad 24 stupnov, spustenie
                klimatizacie
                    GPIO.output(ledR, 0)
                    GPIO.output(ledG, 1)
                    GPIO.output(ledB, 1)

            time.sleep(1)
except KeyboardInterrupt:
    GPIO.cleanup()
    print ("Program ukonceny")
```

Fig. 3. Part of source code used for thermal monitoring

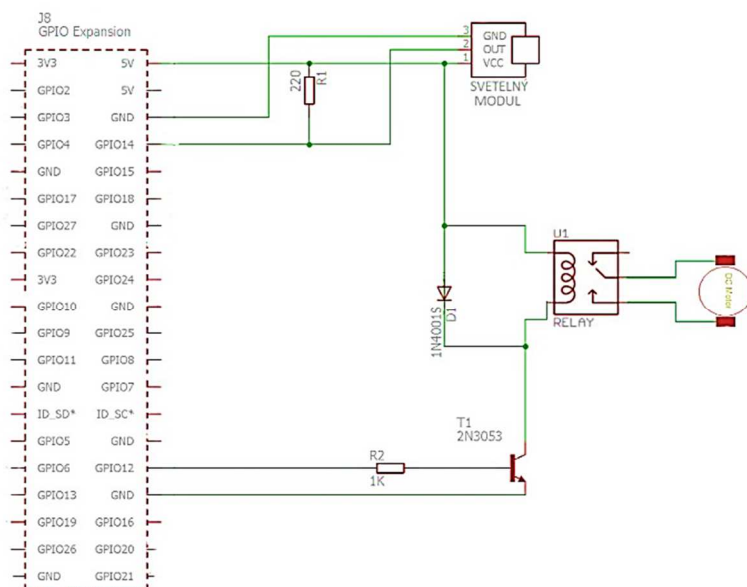


Fig. 4. Scheme of modeling intelligent shading

The user environment (Fig. 5) was created using the Cayenne platform on an Android smartphone. However, the environment is also available for iOS. The application informs the user about the individual parameters monitored and allows the user to intervene in individual processes.

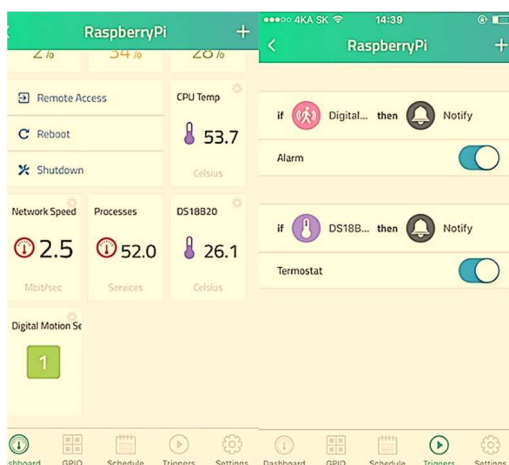


Fig. 5. The user interface

An integral part of the design process was also the creation of a physical model that contained all the suggested functions for the smart home system (Fig. 6).

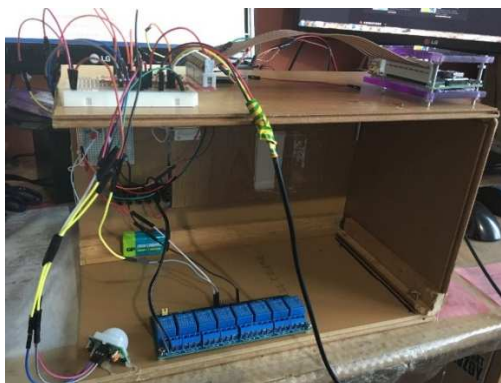


Fig. 6. The physical model of the smart home system

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Conclusions. Our task was to design a model of cost-effective smart home system. Our solution implemented the Raspberry Pi microcomputer, which was connected with the external hardware. We have created the customized graphical user environment that is a necessity in terms of comfort of the user experience. The solution also included the creation of a physical model of the smart home system.

Our smart home model can meet the savings, comfort and safety requirements of every household. It covers a software range of commonly available features with seamless implementation to a real household. The stability and functionality of the system designed for the model has been verified in a long-term testing. No errors in stability have been demonstrated.

Acknowledgement. This work was supported by grant project KEGA 054TUKE-4/2016 Innovation of teaching courses with a focus on automation in response to the demands of industry and services and project APVV 15-0435.

References

1. Hendricks, D. (2014). The history of Smart Homes. *www.iotevolutionworld.com*. Retrieved from <http://www.iotevolutionworld.com/m2m/articles/376816-history-smart-homes.htm> [in English].
2. Smart home technology- wi-fi thermostats (2018). *www.smarthome.com*. Retrieved from <http://www.smarthome.com/wifi-thermostat.html> [in English].
3. Delaney, J. R. & Colon, A. (2017). The Best Smart Home Security Systems of 2017. *www.pcmag.com*. Retrieved from <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2498510,00.asp> [in English].
4. Stables, J. (2017): The best smart home systems. *www.wareable.com*. Retrieved from <https://www.wareable.com/smart-home/the-best-smart-home-systems> [in English].
5. Home automation (2018). *www.hkc.com.hk*. Retrieved from <http://www.hkc.com.hk/home-automation/> [in English].
6. King, P. (2016). *Simple electronics with GPIO zero*, Seymour Distribution. Ltd, London [in English].
7. Masarovič, R. (2014). *Softvérové vybavenie pre Raspberry Pi implementujúce funkcionality inteligentného domu*. Diplomová práca, Žilina, ŽU FRI, 91 [in Slovak].
8. Raspberry products (2018). *www.raspberrypi.org*. Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> [in English].
9. Goodwin, S. (2010). *Smart Home Automation with Linux*. Apress, New York, ISBN 978-1-4302-2779-3 [in English].
10. Cocuľa, Ya. (2017). *Návrh a realizácia modelu inteligentnej domácnosti*, Košice. [in Slovak].

УДК 681.31

Патрик Шарга, Якуб Кокуля

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

Актуальність теми дослідження. Впровадження систем розумного будинку відбувається повільніше, ніж очікувалося. Однією з найбільших перешкод для масового поширення розумних будинків є висока ціна на пристосування, які доступні на ринку. Будинкова автоматика недостатньо поширена серед людей не тільки через високу ціною, але й тому, що наявні системи не відповідають уявленням користувачів про те, як вони повинні працювати, а також через побоювання користувачів стосовно ризиків безпеки. З цих причин при розробці нової системи розумного будинку рекомендується виконати початкове тестування на моделі.

Постановка проблеми. Мета розробки полягала в тому, щоб спроектувати модель оригінальної недорогої системи розумного будинку, яка дозволить проводити тестування, налаштування та удосконалення системи будинкової автоматики до її введення в експлуатацію. Така модель може також використовуватися в процесі навчання, таким чином студенти зможуть тестувати пропоновані системи розумного будинку на моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При розробці моделі та підготовці цієї статті ми враховували як поточні джерела – публікації та документи, що стосуються сучасного стану систем інтелектуальних будинків, так і наявні рішення для розумного будинку, які широко доступні на ринку.

Виділення не досліджених частин загальної проблеми. Впровадження запропонованої моделі в реальну експлуатацію не було реалізовано в процесі дослідження для цієї публікації.

Постановка завдання. Метою дослідження є моделювання недорогої, надійної системи розумного будинку.

Виклад основного матеріалу. Для ефективного дослідження й вирішення задачі системи розумного будинку важливо створити адекватну модель, яка копіює справжній розумний будинок. Для нашого рішення ми використовували крихітний і доступний комп'ютер Raspberry Pi3, який був підключений через GPIO до зовнішніх датчиків для освітлення, температури і т. ін. Робота була виконана мовою програмування Python, а для створення призначеного для користувача інтерфейсу, використовувалася платформа Cayenne для Android – керованих смартфонів.

Висновки відповідно до статті. Запропоноване рішення реалізовано на мікрокомп'ютері *Raspberry Pi*, який був пов'язаний із зовнішнім обладнанням. Представлені результати також включали створення фізичної моделі системи розумного будинку. Розроблена модель може задовольняти вимогам економії, комфорту й безпеки кожного домашнього господарства. Стабільність і функціональність системи, розробленої для цієї моделі, були підтверджені при довгостроковому тестуванні. Ніяких помилок у стабільності не виявлено.

Ключові слова: розумний будинок; модель; *Raspberry Pi*; *Python*; *Scyenne*.

Рис.: 6. *Бібл.:* 10.

Patrik Šarga – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automation, Control and Human Machine Interactions, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice, Letná 9 Košice, Slovakia.

E-mail: patrik.sarga@tuke.sk

Scopus Author ID: 15128102900

Jakub Cocuľa – student of mechanical engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice, Letná 9 Košice, Slovakia.

E-mail: jakub.cocula@student.tuke.sk

Volodymyr Bazylevych, Dmytro Mekhed, Volodymyr Guryev

DEVELOPMENT OF CRITERIA OF PROTECTION FROM CYBER THREATS AT SOCIAL ENTERPRISE

Urgency of the research. *The issue of creating a system of protection against cyber threats today is becoming urgent. The ever-growing number of cyberattacks is the confirmation.*

Target setting. *Most enterprises, especially small ones, cannot afford to maintain a specialized department, or even an outsourcing company for the implementation of security systems. In this context, the formulation of general protection criteria can solve this problem.*

Actual scientific researches and issues analysis. *The latest public access publications, statistics, corporations reports were reviewed.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *Adapting criteria for protection against cyber threats for social enterprise. Are social enterprises more vulnerable to cyber threats and if so, why? Which criteria are more important and which ones can be neglected?*

The research objective. *Develop adapted criteria for protection against cyber threats, which can be used to create a system of protection at a social enterprise.*

The statement of basic materials. *The types and statistics of cyber threats are analyzed. A table of criteria has been constructed, which includes: the financial value of the information, the coefficient of value, the event, the probability of occurrence of the event, the number of resources needed to ensure complete security, the type of storage device information.*

Conclusions. *The proposed criteria allow the creation of adapted and unified security systems against cyber threats.*

Keywords: *cyber threats; social entrepreneurship; security criteria; value of information; types of data storage devices; databases.*

Fig.: 2. Table: 1. References: 6.

Urgency of the research. The issue of creating a system of protection against cyber threats today is becoming urgent. The ever-growing number of cyberattacks is the confirmation.

Target setting. Nowadays become more and more popular such words as hackers, viruses, cyber-attacks and something like this: “somebody hacked my account/e-mail” or “enterprises or web-system or something else were attacked by hackers/cyberterrorist”. So, what is cyber threats? Today there lot of different methods how “bad guys” can get access to your information.

We have three types of cyber threats, which are:

1. Unauthorized access to confidential information
2. Modification of information
3. Loss of information

So we can say that if somebody who you don't want to get access to your information then you were attacked. Because it can influence to your finance, reputation, relations, etc.

Today we can see that numbers of cyber-attacks are slowly increasing every year, but at the same time a lot of corporation and companies are beginning to pay more and more attention to cybersecurity. Also company which developed software trying to release programs with fewer backdoors, spending more time for testing, update old software if they find some bugs in it, etc.

According to Derek Manky (Fortinet global security strategist) “Every minute, we are seeing about half a million attack attempts that are happening in cyber space” [1].

According to Symantec report 2017 [2] we can find more than 1000 breaches in cyber space every year, and because of it about 1 billion people are exposed to cyber-attacks per year.

Most of attacks are not very dangerous, but some of them could cause serious economic and political damage. For example attacks during US presidential election in 2016.

Why it is important to think about cybersecurity if you decided to start a social enterprise?

As we know “social entrepreneurship is a special form of management which purpose is to run a production function in such a way as to ensure increased value for all the parties in that function” [Sandal, 2004]. So usually, if you start a new social enterprise you responsible for everything, but at the same time you cannot be expert in all areas. For many different things, like building, plumbing, poster printing, etc., you can find outsource company, but when we are talking about confidential information, it becomes harder.

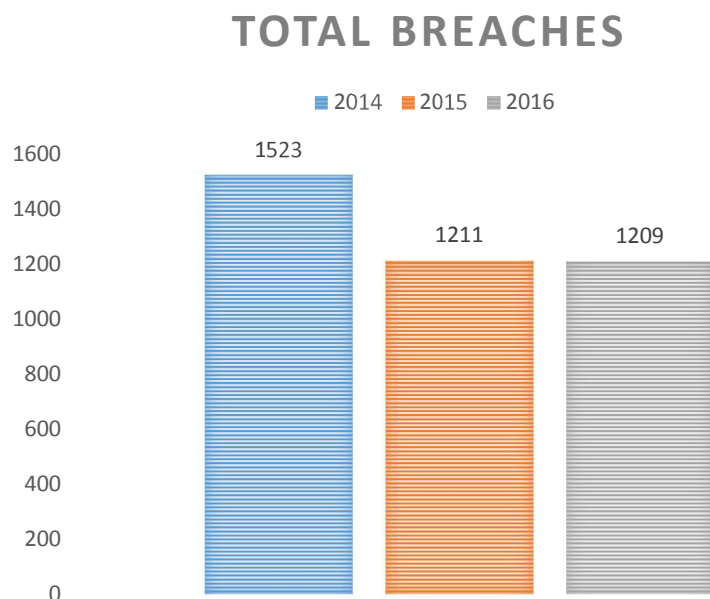


Fig. 1. Numbers of total breaches per year

Source: information from Symantec report 2017.

History knows a lot of example when company went bankrupt due to a security breach [3]. In addition, if somebody get access to the information, which is your commercial secret, you could went bankrupt in few days or at least suffer huge losses.

Actual scientific researches and issues analysis. The research of this problem was carried out by such domestic and foreign scientists as Jan-U. Sandal, Yu. O. Kovalenko, Y. M. Tkach, S. V. Kazmirchuk, D. B. Mekhed [4], S. M. Shkarlet [5] and others.

Uninvestigated parts of general matters defining. In this article, the analysis of threats will be focused on the peculiarities of social entrepreneurship. The threat analysis will be conducted using quantitative analysis and modeling of dangers.

The research objective. Analyze features of functioning and cyber threats on a social enterprise. Develop a set of criteria that are required to build a security system of the enterprise.

The statement of basic materials. We could say that organizations whose primary goal is social good may seem like unlikely targets for hackers. After all, who would want to attack the tech resources, networks, and data repositories of these groups when there are so many for-profit organizations and government agencies to prey upon? Unfortunately, the answer is many people. The reality is that social enterprises are at particularly high risk for security breach. The reason, as recently stated in a Forbes.com editorial, is that hackers' typically infiltrate their victims' networks by searching for the weakest link as the initial point of entry to their ultimate target [6].

The hackers usually looking for connections between organizations, making some kind of networks and then attacking the weakest node of this network. That is why even if it's organization with no profit and with 1 man working there it could be target.

The main question we will want to answer is what modern social entrepreneur should know about cybersecurity. We would like to start with developing of criteria of protection from cyber threats. Of course, the whole package of criteria would be depend on specific of every enterprise working, but the general idea will be the same.

What we should protect and how we can do it?

First, we should identify all types of information storage and system, which we need to protect. It could be: paper documentation; electronic documentation; web-site; database; e-mail; accounts in different web-system, social media, etc.; local computer network (both:

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

wired and wireless), staff, pen-drives, laptops and other electronic devices (especially if staff take this devices home after work), etc. All of this storage we can divide in two groups: **internal** storage, if you need to access inside the building to get information and **external** storage, if you can get remote access to the information.

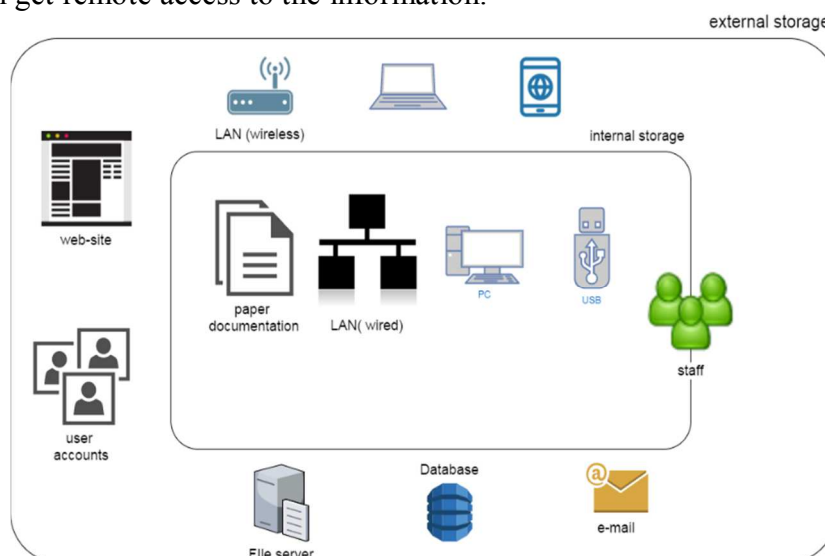


Fig. 2. Types of storage

Source: created by authors.

Then we should determine the value of information on each of this storage. For that, we should answer this simple question, what we will loss if:

1. Somebody (for example our concurrent) will get this information?
2. We just lost all this information.
3. Somebody take this information, modify it and give it to third person as original information. It's mean that third person will have the information, which can confirm the truthfulness (for example, to receive a digital signature).

The answer should cover finance, reputation and relations side.

The most important, finance side we will count as sum of all possible losses we get if event will occur. The result will be the determination of the financial value of information as quantitative indicator (V).

After that, if it is possible, we should create coefficient of value (K) (Table) for all types of storage from 0 to 1. Where 0 – no losses in case of unauthorized access 1 – destruction of an enterprise in short period after unauthorized access. In this case, if the coefficient is close to 0, it can be neglected.

Table

Criteria for protection against cyber threats

V (finance value of information)	K coefficient of value	Event	P Probability of occurrence the event	R Resources for ensure complete safety	Type of storage
*	1	Loss all information from file server	0.1	*	internal
...

Next step is to determine the probability of occurrence some event (P) that could happens with every type of storage. This is the most complicated and long-term phase. To achieve our goal, we will use the concept of risk. The risk will be considered as the probability of causing loss with taking into account its severity. The economic aspect of risk is determined by the

fact that it determines the quantitative measure (probability) of causing damage (loss) as a result of the manifestation of certain dangers [4]. We plan to calculate the probability of occurrence of an event using quantitative analysis and modeling of dangers. Algorithm:

1. A quantitative analysis of dangers always begins with a preliminary study, the main purpose of which is to identify the source of danger.

2. The identification of sources of danger, the study of the development of danger and its analysis are mandatory components of the methodology, called the previous analysis of dangers (PAD).

3. Conducting the PAD in practical terms is simplified and formalized through the use of pre-prepared questionnaires, special questionnaires, tables, matrices of preliminary analysis, etc.

4. The most effective and generally accepted methods of quantitative analysis of dangers include the construction of models in the form of a tree of events (TE) and failure trees (FT).

5. When constructing TEs and FTs it is accepted to use special symbols that facilitate the perception of the analyst performed graphic constructions.

6. Event tree (TE) is a logical sequence of the most significant reactions of the physical system (technical device) to the initiating (output) events.

7. The analysis of the TE ensures the sequence of events leading to success, and at the same time, identifies an alternate sequence of events that result in the failure of the technical device and failures in the technical systems.

8. The disadvantages of the TE model are manifested when there are parallel sequences available.

Event-analysis of ACTION is not sufficiently effective in the detailed study of complex multi-element systems.

9. Tree failure (FT) - these are presented in a logical sequence possible failures, failures of the physical system (technical device), which are the causes of an unwanted major event.

10. The main undesirable event is taken to bring to the top of the tree of failure. Then, moving from the root to the top of the FT, you can detect the logical combination of events that causes the main undesirable event located at the top of the tree.

11. FT can detect all possible combinations of failures of individual elements of a complex system, the result of which is the main undesirable event.

12. The disadvantage of the FT model is too large and cumbersome construction, which requires considerable resources and time to analyze.

13. In the case of complex or multi-element systems, a qualitative analysis of hazards requires the simultaneous construction of both the model of the FT and the model of the TE. During the analysis of the dangers, the analyst performs numerous transitions from the FT to the TE and back - until both models will adequately reflect the investigated physical system (technical device).

14. FT and TE models are widely used in specially designed computer threat analysis programs.

15. The complexity of the analysis of hazards is often due to the fact that the main undesirable event is caused by a set of primary events.

For the last, we need to find how many resources we need to cover all expenses we need to ensure complete safety for all type of storage.

Conclusions. As a result, we will get the table of criteria we will use for developing system of cybersecurity at social enterprise.

References

1. Biggest cybersecurity threats in 2016 (2016). *CNBC*. Retrieved from <https://www.cnbc.com/2015/12/28/biggest-cybersecurity-threats-in-2016.html>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Internet Security Threat Report ISTR (2017). *Symantec*. Retrieved from https://digitalhubshare.symantec.com/content/dam/Atlantis/campaigns-and-launches/FY17/Threat%20Protection/ISTR22_Main-FINAL-APR24.pdf?aid=elq_&om_sem_kw=elq_17978439&om_ext_cid=biz_email_elq_.

3. Companies that Went Out of Business Due to a Security Breach (2014). *Pro OnCall Technologies*. Retrieved from <https://prooncall.com/3-companies-went-business-due-security-breach>.

4. Tkach, Yu. M., Kazmirchuk, S. V., Mekhed, D. B., Bazylevych, V. M. (2017). Zastosuvannya metodu ekspertnykh otsinok do otsiniuvannya informatsiinykh ryzykiv vyshchoho navchalnoho zakladu [Application of the expert estimation method to the assessment of information risks of a higher educational institution]. *Zakhyst informatsii – Information protection*, 2, 137–142 [in Ukrainian].

5. Shkarlet, S. M. (2007). *Ekonomichna bezpeka pidpriemstva: innovatsiinyi aspekt [Economic security of an enterprise: an innovative aspect]*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].

6. Social Enterprises: A Hackers Favorite Target (2015). *Lunarline*. Retrieved from <https://lunarline.com/blog/2015/01/social-enterprises-hackers-favorite-target>.

References (in language original)

1. Biggest cybersecurity threats in 2016 [Electronic resource] // CNBC. – 2016. – Access mode : <https://www.cnn.com/2015/12/28/biggest-cybersecurity-threats-in-2016.html>.

2. Internet Security Threat Report ISTR [Electronic resource] // Symantec. – 2017. – Access mode : https://digitalhubshare.symantec.com/content/dam/Atlantis/campaigns-and-launches/FY17/Threat%20Protection/ISTR22_Main-FINAL-APR24.pdf?aid=elq_&om_sem_kw=elq_17978439&om_ext_cid=biz_email_elq_.

3. Companies that Went Out of Business Due to a Security Breach [Electronic resource] // Pro OnCall Technologies. – 2014. – Access mode : <https://prooncall.com/3-companies-went-business-due-security-breach>.

4. Застосування методу експертних оцінок до оцінювання інформаційних ризиків вищого навчального закладу / Ю. М. Ткач, С. В. Казмірчук, Д. Б. Мехед, В. М. Базилевич // Захист інформації. – 2017. – № 2. – С. 137–142.

5. Шкарлет С. М. Економічна безпека підприємства: інноваційний аспект : монографія / С. М. Шкарлет. – К. : Вид-во НАУ, 2007. – 436 с.

6. Social Enterprises: A Hackers Favorite Target [Electronic resource] // Lunarline. – 2015. – Access mode : <https://lunarline.com/blog/2015/01/social-enterprises-hackers-favorite-target>.

УДК 004.056.5

Володимир Базилевич, Дмитро Мехед, Володимир Гур'єв
**РОЗРОБКА КРИТЕРІЇВ ЗАХИСТУ ВІД КІБЕРЗАГРОЗ
НА СОЦІАЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

Актуальність теми дослідження. Питання створення системи захисту від кіберзагроз сьогодні стає нагальним. Постійно зростаюча кількість кібератак є цьому підтвердженням.

Постановка проблеми. Більшість підприємств, особливо невеликих, не можуть собі дозволити утримання спеціалізованого відділу, або навіть аутсорсингову компанію для реалізації систем захисту. У такому контексті формулювання загальних критеріїв захисту може вирішити цю проблему.

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

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Адаптування критеріїв захисту від кіберзагроз для соціального підприємства. Чи соціальні підприємства більш вразливі до кіберзагроз і якщо так, то чому? Які критеріїв більш важливі, а якими можна знехтувати?

Постановка завдання. Розробити адаптовані критерії захисту від кіберзагроз, які можуть бути використані при створенні системи захисту на соціальному підприємстві.

Виклад основного матеріалу. Проаналізовано типи та статистику кіберзагроз. Побудовано таблицю критеріїв, яка включає: фінансову цінність інформації, коефіцієнт цінності, подія, ймовірність настання події, кількість ресурсів, необхідних для забезпечення повної безпеки, тип пристрою зберігання інформації.

Висновки відповідно до статті. Запропоновані критерії дозволяють створювати адаптовані та уніфіковані системи захисту від кіберзагроз.

Ключові слова: кіберзагрози; соціальне підприємництво; критерії захисту; цінність інформації; типи пристроїв зберігання даних; бази даних.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 6.

Bazylevych Volodymyr – PhD in Economics, Associate Professor of Department of cybersecurity and mathematical simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

Базилевич Володимир Маркович – кандидат економічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

E-mail: bazvlamar@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8935-446X>

ResearcherID: G-5764-2014

Scopus Author ID: 57193029322

Mekhed Dmytro – PhD in Pedagogy, Associate Professor of Department of cybersecurity and mathematical simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

Мехед Дмитро Борисович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

E-mail: d.mekhed@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3905-3620>

ResearcherID: H-1751-2016

Scopus Author ID: 57193823626

Guryev Volodymyr – PhD in Technology, Professor of Department of cybersecurity and mathematical simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

Гур'єв Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

E-mail: bazvlamar@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9507-5408>

ResearcherID: G-9807-2016

Róbert Rákay, Martin Višňovský, Alena Galajdová, Dušan Šimšík

POSSIBILITIES OF COMMUNICATION ENHANCEMENT FOR EXPERIMENTAL PRODUCTION SYSTEM

Urgency of the research. Modern trends in the industrial communication focus on implementation of new communication protocols, wireless data transfer at reduced costs. Communication part of every automation system is crucial and reliability of these systems is very important.

Target setting. When designing automation systems and solving connection of different devices, developers have to solve the various aspects as addressing, data rates, data security, etc. The modern Ethernet based communication protocols and data transfer technologies provide significant cost and work reduction.

Actual scientific researches and issues analysis. To prepare this paper, different publicly available datasheets and experimental solutions were analyzed as well as conclusions of our previous experiments were used to create the knowledge base about this research topic.

Uninvestigated parts of general matters defining. Since there are many different communication solutions, wired and wireless too, and every manufacturer of industrial devices provides its own best solution for communication there is large amount of solutions. This paper is insufficient to describe them all.

The research objective. In this article, different communication and connection technologies were analyzed for future implementation to an existing experimental production system at the Department of Automation, Control and Human-Machine Interactions.

The statement of basic materials. To integrate an existing model of industrial production system to the concept of the Industry 4.0 it is necessary to implement the newest communication technologies. Using Ethernet-based communication protocol, such as Profinet with combination of IO-Link provides good basis to solve this issue.

Conclusions. The proposed paper provides possibilities of extending the communication interface for the FMS-500 experimental system. This system is currently based on programmable controllers S7-300 and the PROFIBUS communication interface. The planned rebuilding of the assembly system involves the exchange of programmable controllers, the expansion of communication protocols and the integration of new functionalities.

Keywords: automation; control; communication.

Fig.: 5. References: 10.

Introduction. The development and advancements of automation tools and IT technologies require the application of contemporary software and hardware solutions both in practice and in teaching. In order to meet the increasing demands of the labor market in automation, practical skills and knowledge together with modern means and tools are essential.

A theoretical analysis of the problem is not sufficient for a better understanding of the communication interfaces, it is necessary to gain and check the knowledge using practical tasks. The FMS-500 experimental workspace at the department of Automation, Control and Human Machine Interactions was designed to provide a practical demonstration of work with industrial line, but it is necessary to update current status by adding a new communications applications. This update involves reconfiguration of an existing automated production line, replacing controllers, exchanging technical resources, and adding new components to the system.

This is a large project that consists of several subtasks. They are focused on identification of new hardware, designing new workplaces and related components, communication addressing between individual system components, and communication with system itself over a remote communication interface.

This paper focuses on the communication interfaces used in the existing system and the possibilities of replacing them with new, innovative technologies to be used in the Industry 4.0 platform [1-3].

Experimental production system. Flexible assembly system FMS-500 was developed by Festo to bring industry technology to students and educators. It serves as a demonstration tool for creating automated systems that consist of sensors, controllers, actuators and communication interfaces.

In its present form, the whole system uses PROFIBUS communication technology. It creates a link between the individual controllers of the system stations, the Siemens S7-300 PLC, and personal computer which serves as the monitoring station of the on-going process.

The structure of the FMS-500 system is shown in Fig. 1, but our workplace does not contain all possible system modules. Our line consist of stations for: distribution, testing, submission and sorting [2; 3].

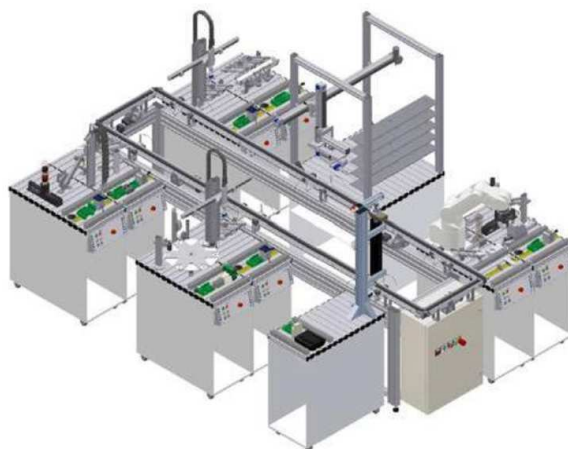


Fig. 1. Experimental production system – FMS-500

Communication systems can be divided into 3 layers:

1. The layer of sensors and actuators provide real-time communication. These networks are the lowest level of control, and data and power are transmitted on a common transmission medium. Such networks are: AS-Interface, Interbus, HART, etc.

2. Layer of bus devices is used to communicate programmable machines. It is used to connect I/O devices, real-time control devices. It uses longer frames for communication to configure the actuators and sensors. Here we can include networks like: DeviceNet, Interbus, CAN, and so on.

3. The layer of industrial communications collectors is at the highest level in the industrial network hierarchy. Typically, these are dual-band networks. They allow manage service events, transfers of object-oriented data and variables. These include networks such as: Profibus, P-Net, WorldFIP, etc. [4,5]

PROFIBUS. PROFIBUS is the name of the standard for PROFIBUS and PROFINET bus. It is an open operating bus regulated by IEC 61158. By means of one bus cable, PROFIBUS connects the controller and the control system with decentralized operating devices (actuators, sensors) and also enables the exchange of data with higher communication systems. PROFIBUS is built as a modular communication channel, which also includes the communication protocol itself. With modularity, it is possible to specialize communication to various tasks such as motion control (PROFIdrive) or integration of HART devices, and so on. This creates different PROFIBUS profiles such as: PROFIBUS PA, PROFIBUS DP, PROFIdrive, PROFIsafe and more.

For a simple and low-cost communication solution, RS-485 communication is recommended. Transmission speeds range from 9.6 to 15,000 Kbit/s, depending on the media used, and the number of nodes in that segment is limited to 32 and 126 across the network. Uses circuit topology, tree, and circle [4].

PROFINET. We have decided to replace the existing communication channel and the network with PROFINET communication. PROFINET is an industry-standard with physical layer Ethernet that ensures long-term compatibility with other manufacturer's products. PROFINET uses the same Ethernet as IT solutions, and is adapted to industrial conditions.

Integrated Ethernet communication, meets the broad requirements for data transfer. Communication takes place through the same cable in every application, from simple control to drive applications.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Using the flexible structure, the network can adapt to the physical structure of traffic, thus can eliminate costly, special communication solutions. The advantage of Ethernet is also the ability to combine wired and wireless solutions. As a result, Wifi and Bluetooth communication are seamlessly integrable into networks with real-time access to data. In Figure 2 an example of a Profinet network is shown that combines fixed and wireless communications [4; 5].

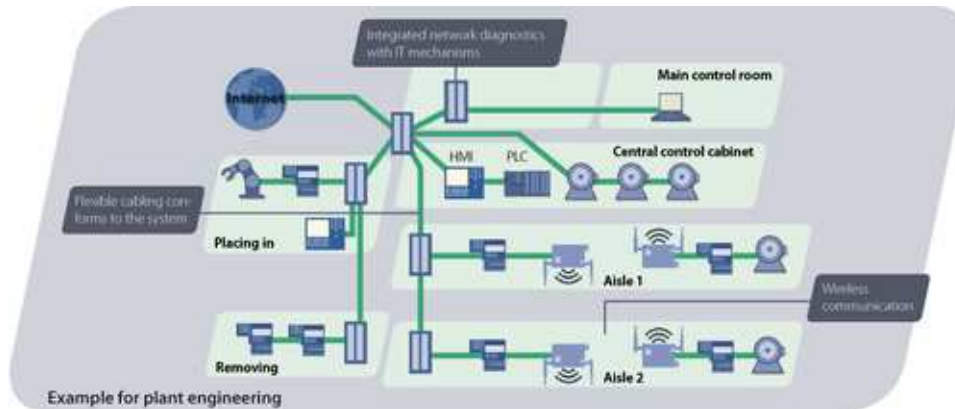


Fig. 2. Example of Profinet network [5]

IO-LINK. It is an independent interface solution between sensors and actuators for use with PROFIBUS and PROFINET. IO-Link is a point-to-point interface for low cost smart/intelligent devices that work at the lowest level of automation. These devices have been "on/off" in the past, but they are currently gaining new features and capabilities such as pre-configuration during operation, greater resolution and improved performance.

In addition, they include higher computing performance and require faster, more intelligent communication with control devices. IO-Link is flexible because it is designed to work with standard devices without modification so its integration and creation of the IO-Link network is simple. This technology is expanded due to independence of the bus and the manufacturers, thus enabling the components of various systems to be connected seamlessly.

Our department is currently working with Balluff, which represents its components as the leading manufacturer of IO-Link elements. The company portfolio covers sensors, high-precision positioning systems, industrial identification systems, object and fluid measurement systems, and network and interconnect devices.

The main component of IO-Link networks or subnets are master modules that represent an IO-Link communication control unit. The Profinet IO-Link master module is predetermined by the built-in system in which Profinet is the main communication bus. This module connects standard and IO-Link elements and collects and sends data using Profinet. [6]

MINDSPHERE. Cloud offers, in addition to the flexible availability of the necessary resources for data storage and processing, also a basis for the horizontal linking of different places. If we want to connect our business, operation, or process to the Industry 4.0 concept, we need to decide whether to provide our data to an external service provider or to use a platform that creates an internal network protected from foreign access. All machines and processes produce a lot of unused data. MindSphere is an open IoT operating system based on cloud technology. It is a data sharing platform that enables the connection of devices and functions and data transfer to MindSphere [7; 8].

The key components of MindSphere are:

- An open interface for connecting devices, machines, departments – in a simple and secure form.
- MindSphere products such as MindConnect IOT 2040 and MindConnect Nano – enable to capture machine and operating data and transfer them to MindSphere.
- Data-based services - tools for machine analysis, energy analysis.
- MindApps - applications for predictive monitoring and intervention.
- Development platform for creating custom applications.

MindSphere serves to monitor world-wide manufacturing plants, machines and equipment. Subsequent data can be used for predictive maintenance, energy management, and stock and resource optimization with platform applications.

In addition to integrated applications, it is possible to create custom applications and make data available to third parties for analysis and processing. This platform creates a new space for application developers who can offer data processing services. In Figure 3, there is a MindSphere environment in which the processed data is displayed [7; 8].

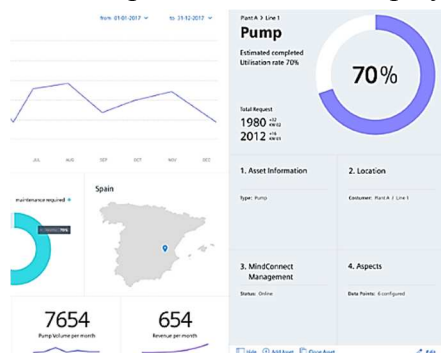


Fig. 3. Visualization of data - MindSphere

For integration of our experimental workplace into Industry 4.0, we have decided to use the Siemens MindSphere platform to create a remote interface for access to the processing of data produced by system.

RFID. It is a technology for identifying people, objects, products, cities, and so on. The main components of the technology are the read and write device and the data carrier with the antenna. The data carrier provides a unique identifier, and specifies the exact name, description, or characteristic of the scanned object.

An important advantage over a barcode is that the reader does not have to be placed accurately, and it is possible to load the data even from a larger distance based on the reader used.

Frequent problems with RFID are the collisions of the signals of either the readers or the tags. Reader collision occurs when two or more heads overlap and the carrier cannot answer to multiple requests. The collision between the tags occurs when several tags are in a small location, one reader head is requests data, and multiple tags respond.

As one of the new features of the experimental workplace, we wanted to complement the industrial identification. Based on our experience, we have chosen Balluff's RFID components (Fig. 4). With its BIS product family, it meets all the requirements of industrial identification in a modern environment, from low to high frequency. With the control unit, the elements are easily connected to each other and to the IO-Link network [9].



Fig. 4. Components of IO-Link [9]

Siemens SIRIUS ACT. Rapid industrial development places increasing demands on suppliers of automated systems. This pressure has created new interconnection technologies that greatly accelerate the integration and integration of components.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SIRIUS ACT connects the buttons and signaling devices directly to the control unit and HMI devices via the PROFINET interface. Other advantages of using such a peripheral connection are: steady data management, shorter downtime, fast diagnostics and flexible design and modification of systems during operation [10].

Main benefits:

- Effective PLC integration.
- Reduced cabling - fewer sources of errors during installation and debugging.
- Quick installation with flat cable without special tools.
- High level of flexibility – expandable I/O.
- Modular plug-in form of components.
- Safety design option.
- Single IP address for 21 devices.
- Simple replacement of broken pieces.

The above-mentioned technologies are, by their very nature, tools for integrating the experimental workplace into the Industry 4.0 concept. The gradual integration of these technologies is divided into steps that are gradually being followed. The first step of FMS rebuilding is to replace currently used S7-300 controllers and PROFIBUS communication with S7-1500 controllers and Profinet communication. In addition to this replacement, a new FMS-500 module is being developed to integrate IO-Link and RFID.

This workplace is designed for presentation and educational purposes and is created within a doctoral project. The next step in expanding system features is to make process data available for long-term recording and analysis using the MindSphere platform. In the future, we plan to extend communication with wireless connectivity, Wifi and experiment with it. The planned connection of the components of the automated system is shown in Figure 5.

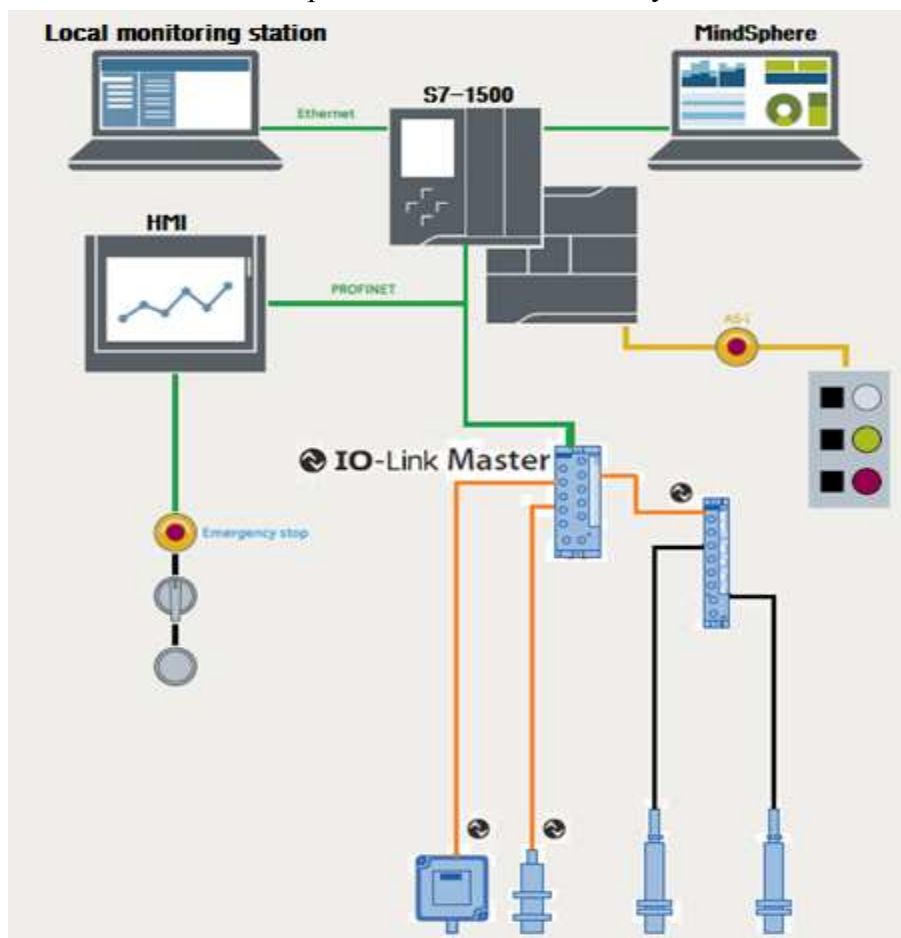


Fig. 5. Interconnection of experimental production system components after rebuilding

Conclusion. This article describes communication technologies that currently allow the integration of an experimental workplace into the Industry 4.0 concept. During the reconstruction of the experimental workplace, new components, controllers, sensing and actuating elements, communication devices are gradually added to the system. Selected communication interfaces are often applied in current industrial processes, and by their integration, the Department of Automation, Control and Human Machine Interactions acquire a powerful tool for research and educational purposes.

Acknowledgement. This work has been supported by the Slovak Grant Agency KEGA 054 TUKE-4/2016 Innovation of teaching courses with a focus on automation in response to the demands of industry and services.

References

1. Onofrejevová, D., Šimšík, D. (2017). Výskumné aktivity zamerané na budovanie platformy pre priemysel 4.0. *ATP Journal*, 4, 36-38 [in Slovak].
2. Višňovský, M. & Galajdová, A. (2017). *Prepojenie PLC a IO-Link technológie ako súčasť Industry 4.0*. Novus Scientia 2017. Košice: TU [in Slovak].
3. Šeminský, J., Šimšík, D. (2017). *Modelovací rámec pre modelovanie podnikových a výrobných operácií RAMI 4.0*. ARTEP 2017. Košice: TU, 2017 p. 49-1-49-7 [in Slovak].
4. Vitáková, V., Višňovský, M., Rákay, R., Galajdová, A., Šimšík, D.: *IO-Link v zobrazovaní procesných stavov v automatizovanej výrobe – hardvérová konfigurácia*. In: ARTEP 2017. Košice: TU, 2017. p. 48-1-48-12 [in Slovak].
5. Profibus, Profinet. *www.profibus.com*. Retrieved from <https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=51714&token=4ea5554cbb80a066e805a879116ead2a759c23c3> [in English].
6. IO-Link Balluff (n.d.). *assets.balluff.com*. Retrieved from https://assets.balluff.com/WebBinary1/DRW_869880_04_000.pdf.
7. MindsSphere. *www.pac-online.com*. Retrieved from <https://www.pac-online.com/mindsphere-siemens-cloud-industry-what-it-all-about> [in English].
8. Connection to Internet of Things (n.d.). *www.eaton.eu*. Retrieved from [http://www.eaton.eu/electrical/customersupport/.../Connection_to_Internet_of_Things_\(IoT\)_CZ_WP120004.pdf](http://www.eaton.eu/electrical/customersupport/.../Connection_to_Internet_of_Things_(IoT)_CZ_WP120004.pdf) [in English].
9. *RFID*. Retrieved from <http://www.technovelgy.com/ct/technology-article.asp> [in English].
10. *SIRIUS ACT*. *w3.siemens.com*. Retrieved from <http://w3.siemens.com/mcms/industrial-controls/en/commanding-devices-signaling/sirius-act/pages/default.aspx> [in English].

УДК 658.51:007

Роберт Ракай, Мартін Вишньовські, Альона Галайдова, Душан Шимишк

МОЖЛИВОСТІ ПОЛІПШЕННЯ КОМУНІКАЦІЇ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

Актуальність теми дослідження. Сучасні тенденції в промисловій комунікації орієнтовані на впровадження нових комунікаційних протоколів, бездротовій передачі даних при знижених витратах. Комунікаційна частина будь-якої системи автоматизації має вирішальне значення і надійність цих систем дуже важлива.

Постановка проблеми. Під час проектування систем автоматизації і вирішення завдань підключення різних пристроїв розробникам доводиться вирішувати різні аспекти, такі як адресація, швидкість передачі даних, безпеку даних і т. ін. Сучасні протоколи зв'язку на основі Ethernet і технології передачі даних забезпечують значне зниження витрат і скорочення робочих місць.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для підготовки цієї статті були проаналізовані різні загальнодоступні таблиці даних і експериментальні рішення, а також висновки наших попередніх експериментів були використані для формування уявлення про тему дослідження.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Оскільки існує безліч різних комунікаційних рішень, дротових і бездротових, і кожен виробник промислових пристроїв забезпечує своє власне краще рішення для зв'язку. Ця стаття є недостатньою для їх повного опису.

Постановка завдання. У цій статті були проаналізовані різні технології зв'язку та комунікації для майбутньої реалізації в існуючій експериментальній виробничій системі на факультеті автоматизації, управління і людино-машинних взаємодій.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Виклад основного матеріалу. Щоб інтегрувати існуючу модель системи промислового виробництва в концепцію Industry 4.0, необхідно впровадити новітні комунікаційні технології. Використання протоколу зв'язку на основі Ethernet, такого як Profinet з комбінацією IO-Link, забезпечує хорошу основу для вирішення цієї проблеми.

Висновки відповідно до статті. У запропонованій роботі представлені можливості розширення інтерфейсу зв'язку для експериментальної системи FMS-500. Нині ця система заснована на програмованих контролерах S7-300 і комунікаційному інтерфейсі PROFIBUS. Планова перебудова системи збирання передбачає обмін програмованими контролерами, розширення комунікаційних протоколів та інтеграцію нових функцій.

Ключові слова: автоматизація; управління; зв'язок.

Рис.: 5. Бібл.: 10.

Robert Rakay – scientific-research employee, Technical University of Kosice (9 Letna str. , 040 01, Košice, Slovak Republic).

E-mail: robert.rakay@tuke.sk

Scopus Author ID: 56922070700

Martin Visnovsky – PhD student, Technical University of Kosice (9 Letna str. , 040 01, Košice, Slovak Republic).

E-mail: martin.visnovsky@tuke.sk

Alena Galajdova – Deputy Head of Department, Associate Professor, Technical University of Kosice (9 Letna str. , 040 01, Košice, Slovak Republic).

E-mail: alena.galajdova@tuke.sk

Scopus Author ID: 6506796741

Dusan Simsik – Head of Department, Full Professor, Technical University of Kosice (9 Letna str. , 040 01, Košice, Slovak Republic).

E-mail: dusan.simsik@tuke.sk

Scopus Author ID: 6602121842

UDC 004.424.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-180-186

Ondrej Juruš, Lucia Koukolová

SMART CAMERA FOR SIMPLE SORTING TASKS

Urgency of the research. Attendance time places great emphasis on the production cavity. No manufacturing enterprise can afford to neglect the automation and modernization of its processes. That's why a company focused on manufacturing automotive accessories has turned to us.

Target setting. Output checkboxes prepared at the end of the production process were made by people. This control was unreliable and its reliability was diminishing with the increasing working time. An increasing number of claimed cases required the company to choose a new solution to the problem. We were asked to design a workplace using a camera to read the box descriptions so that it could be followed by palletizing. The second goal was to consider the possibility of subsequent robotization.

Uninvestigated parts of general matters defining. We do not deal with the basic principles of image processing. Basic image processing performs camera software and uses the higher search features of objects.

The research objective. In this article, we are working on implementing the visual system into real-life operation. Design a simple solution that meets customer requirements, whose economic return would be interesting.

The statement of basic materials. We use a simple camera with area capture. It captures frames as an area map of pixels. Basic black and white transition detection is selected for basic object recognition. A description made on white paper that is used as a box description makes it easy to recognize objects in the background.

Conclusions. The proposed test facility consists of a frame, a camera and a conveyor. The workplace produces only 25 cubes per minute under test conditions. To increase productivity, it is advisable to extend the number of posts. The camera was also selected for its ability to communicate with the robot interface. The program creates code that is compatible with the robot's control program and defines the position of the goods in the space. This makes it easy to connect and then robotize the workstation if the company decides for this solution.

Keywords: camera; cognex; area scan; in-sight.

Fig.: 7. Table: 1. References: 7.

Visual system. For our purposes, a camera was selected IS 8402M-373-50. The camera is one of Cognex's latest assortment of visual systems. It is a compact camera capable of performing operations without additional equipment. The camera is predestined to fit in so-called intelligent camera systems. The software located on the camera allows the camera to handle normal industrial operations. At the same time, the camera software is engineered to provide the highest possible communication speed between the camera and the PC. [1]



Fig. 1. Camera IS 8402M [1]

The greatest advantage of the IS 8402M is its small size. The camera dimensions are shown in Figure 1. The camera itself consists of two parts. The first part is the body of the camera, which has a square shape with a square base [2]. In the body of the camera there is hardware that processes the image captured by the camera. On the underside of the camera there are mounting holes with a thread for attaching the camera. On the back of the camera are two connectors and LED indicators. One of the connectors is used to connect the camera to a PC using ENET. The second connector serves to control inputs and outputs with the camera.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

The biggest advantage of the camera is the size, especially because it is the smallest camera capable of continuous image recording. Thanks to these small dimensions, the camera is suitable for space-intensive applications. Separately functioning visual system capable of scanning images in VGA, 1MP, 2MP and 5MP resolution. Other benefits tools included in implemented libraries are the new PatMax RedLine tool. The undisputed advantage that the camera manufacturer offers to its users is to create an application using EasyBuilder. This program makes it easy to add new commands using tables and scripts. The last but significant advantage of this camera is the data rate because it supports communication with Gigabit Ethernet.

The camera has been selected for its undeniable benefits as outlined above. The camera is constructively designed as compact devices. However, this is not the only condition for successful deployment and broad application in technical practice [1]. We chose this camera because the camera makes it easy to create programs. In-Sight Explorer software is used to create these programs. In-Sight Explorer provides a simple step-by-step setup of EasyBuilder. It offers the ability to control and customize application data. It also allows creating scripts built on Java standards. This extension offers a significant simplification of the resolution of demanding tasks in image recognition such as geometric analysis of hundreds of points, analysis and comparison of scanned text or ID codes, or complex logic of finite results.

Table

Parameters of camera

MODEL	In-Sight 8402
GUI Interface	Table a EasyBuild
Firmware	In-Sight Explorer 5.1.1
Memory	512 MB SDRAM
Type of sensor	1/1.8" CMOS
Parameters of sensor	9mm diagonal, 4,5 x 4,5 μm
Maximum resolution (pixels)	1600 x 1200
Max. frames per second	53
LED indicators	network status, 2 user settings
Network communication	10/100/1000 BaseT
Power supply	Class 2, PoE
Type of connectors	M12 pre PoE, M8 for I/O
Coverage	IP 40

Connecting the camera. Working with the camera is relatively simple. Connecting the camera to your computer is easy and you only have to connect two cables to connect the camera to the computer. The camera connects to the PoE adapter. This adapter connects to the network router on which your computer is connected. The control of the connection can be verified on the power adapters is detected by three light indicators. These indicate the connection of the camera to the adapter, connecting the adapter to the network and the fault indicator.

The connection of the camera to the computer is also shown when launching In-Sight Explorer. After running the above software, the program environment opens. However, this does not allow any operations or program creation. You must have a camera connected to your PC to use the program. To connect the camera, you need to focus on the window shown in Figure 6 in the bottom right corner. This window offers several options. After connecting, the camera should show us automatically. If this does not happen, you must use the Refresh button. As soon as the network is found, the device will appear in the selected IS sensor window.

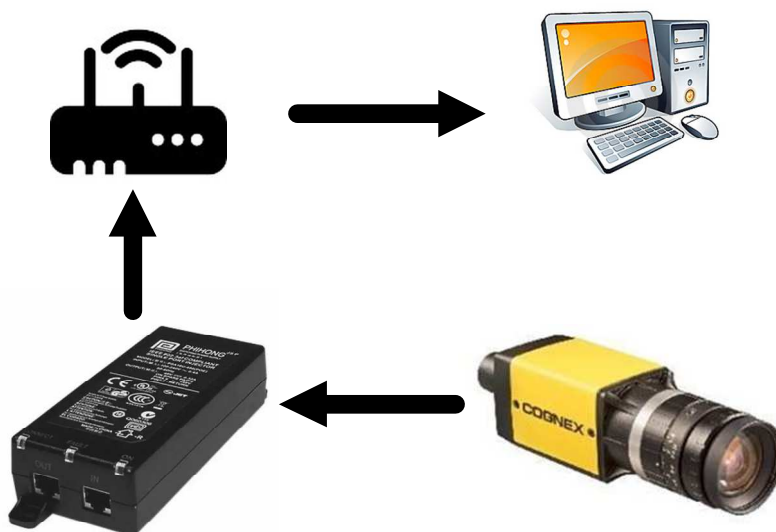


Fig. 2. Connecting the camera to a PC

We mark the selected sensor, the IS 8402 camera, and select the Connect button. This button will connect the camera to the IS Explorer program. At the same time, we'll see information on the sensor. As seen from the above image, the program is also capable of detecting basic camera information. Common device network credentials such as network device name, device type, firmware version, MAC address, IP address, device serial number, and the name of the recorded and running program. If you cannot connect us with a simple connection using IS Explorer, you can use another option [3].

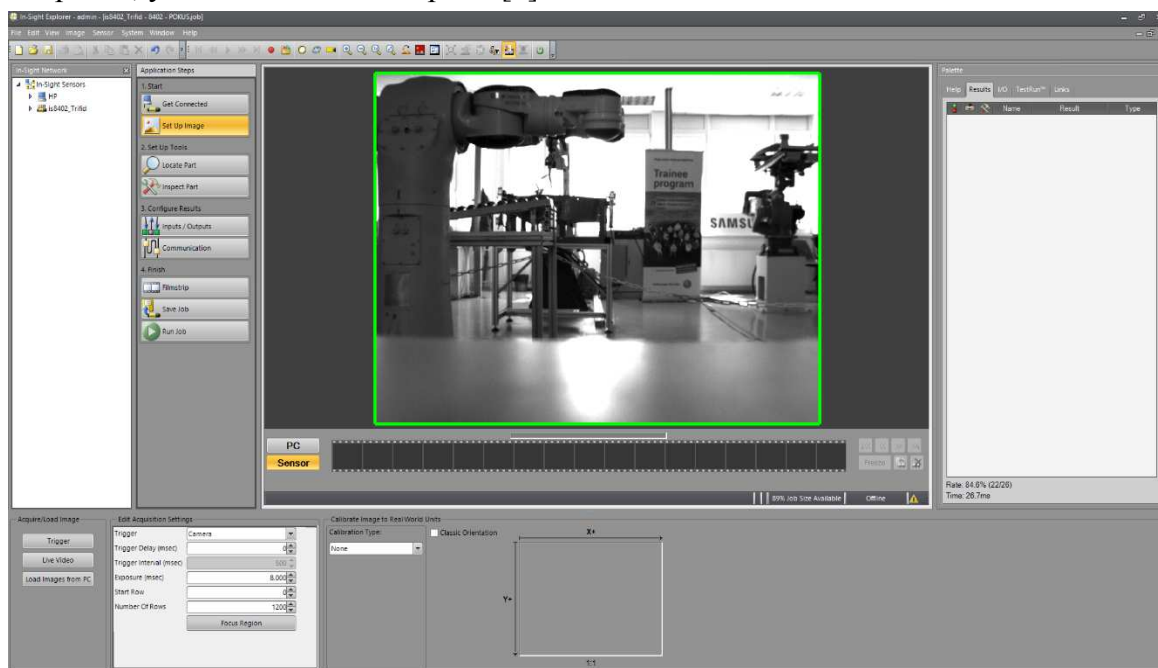


Fig. 3. Workspace In-Sight Explorer

Pressing the Add button gives us the option to set specific camera parameters and manually define it. After successful connection, our sensor or camera will appear in the tree structure at the top left of the screen in the In-Sight window. There is a computer running the emulator job automatically. After pairing with IS Explorer, it is necessary to create a new program. Programs in the camera are labelled Job. After creating a new Job, new options will be made

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

available in the Application Steps window next to the IS window. This brings us to the first step of adjusting the image to get it done in the best possible way in order to maximize accuracy and minimize flaws caused by glare, changing light conditions and other possible risks that can complicate image recognition and subsequent misinterpretation.

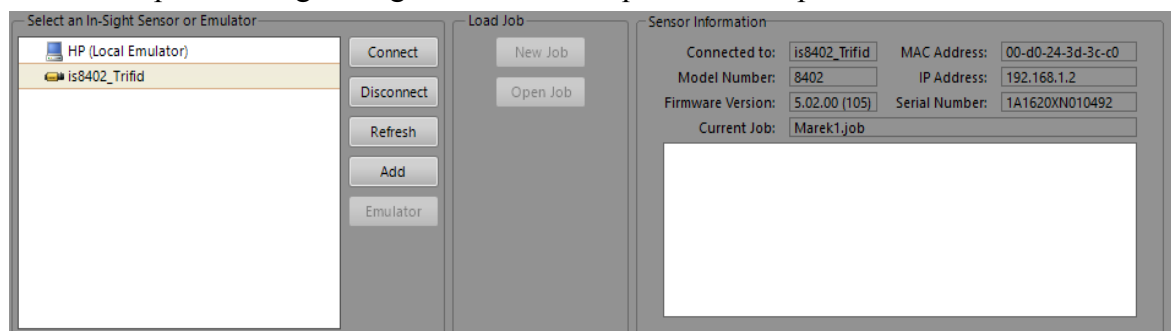


Fig. 4. Device connection window

Image Adjustment and Correction. The first step in working with the image is to set the picture. Here you can upload an image from either the camera using the Trigger Button or upload an image stored on the PC. We recommend that you use the live video option to set up a camera that adjusts the focus of the lens and the amount of light transmitted. This feature lets you watch in real-time what the camera is shooting and what the image looks like. The image from the camera is in the middle window. Below the picture, we have the ability to switch between camera image and PC image. We recommend that you use the live video option to set up a camera that adjusts the focus of the lens and the amount of light transmitted. We need to be offline when the image is being processed, when the image is static and we can set the required parameters. At the beginning, it's a good idea to choose the area we want to focus on. This is achieved by the Focus Region feature.

We create a window on the screen and we are able to select the area we want to focus on. We will confirm the selection in the lower left corner. At the same time, the program offers several calibration options. Calibration with X, Y axis, edge-to-edge calibration is the first calibration method. Other options are the combination of X, Y and Edge to edge. Other less commonly used round-edge calibration types with nine points, grid and imported shape. When we've adjusted the image to the required quality, we can go into creating a search algorithm. For detecting objects, edges, and text. This allows features that are included under the name of Set up Tools. These tools include localization features. They include PatMax. This tool allows us to search all edges in the selected part of the screen. At the same time, our IS 8402 camera also features PatMax Redline support, which allows several times faster playback detection speeds than the PatMax. The manufacturer has reported the disc recognition rate ten times higher. It also offers other ways of detecting edges like Pattern, Edge, Edge Intersection, Blob, Blobs, Circle and Computer Fixture. All of these methods can be used depending on the type of search objects. After choosing a suitable edge detection method, in our case we have chosen the classic and the recommended PatMax RedLine method. By selecting the area we want to search for, we have the result shown in Figure 6. In the figure we see the text that is bounded by green lines. Green lines border the found edges, places with a significant change in colour pixels. At the same time, a command was executed in the Palette window. In the edit window at the bottom, you can change the properties of the selected command.

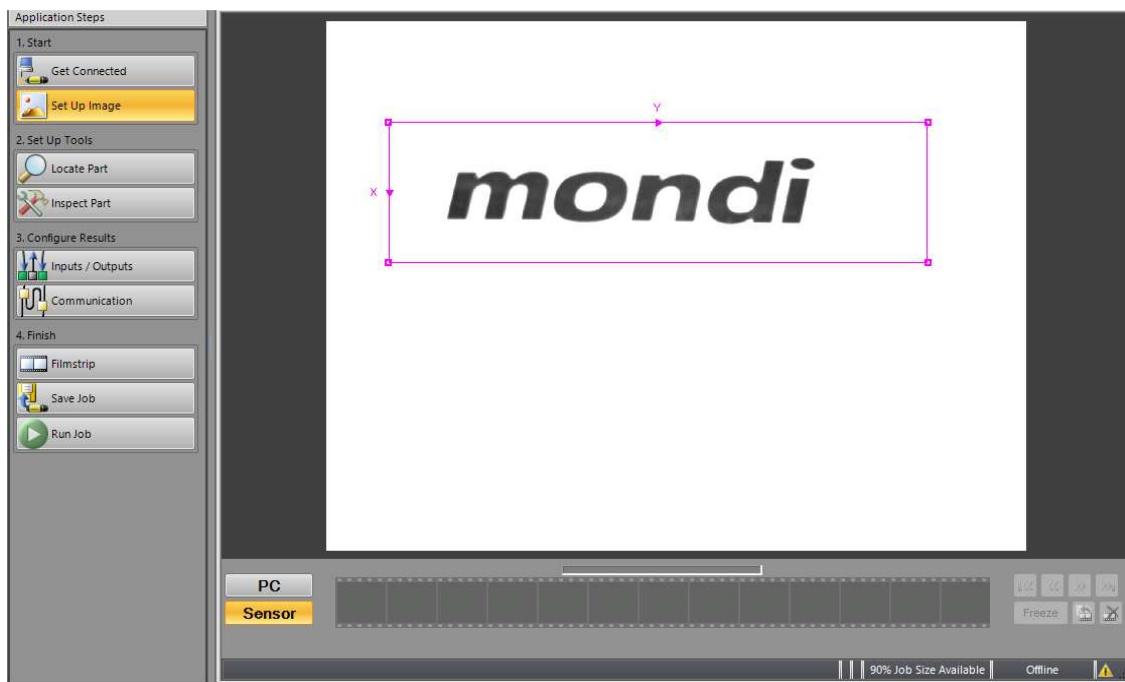


Fig. 5. Select the focus region

When the Settings tab is expanded, the expanded menu allows us to set tolerances when searching for objects. Adjustable tolerances include circularity, contrast, and many others. At the same time, we can verify and review the area that is selected. This area will display the right lower window after you have opened the Trained Image tab. At the same time, we will later show the dependence of the individual steps employed on each other.

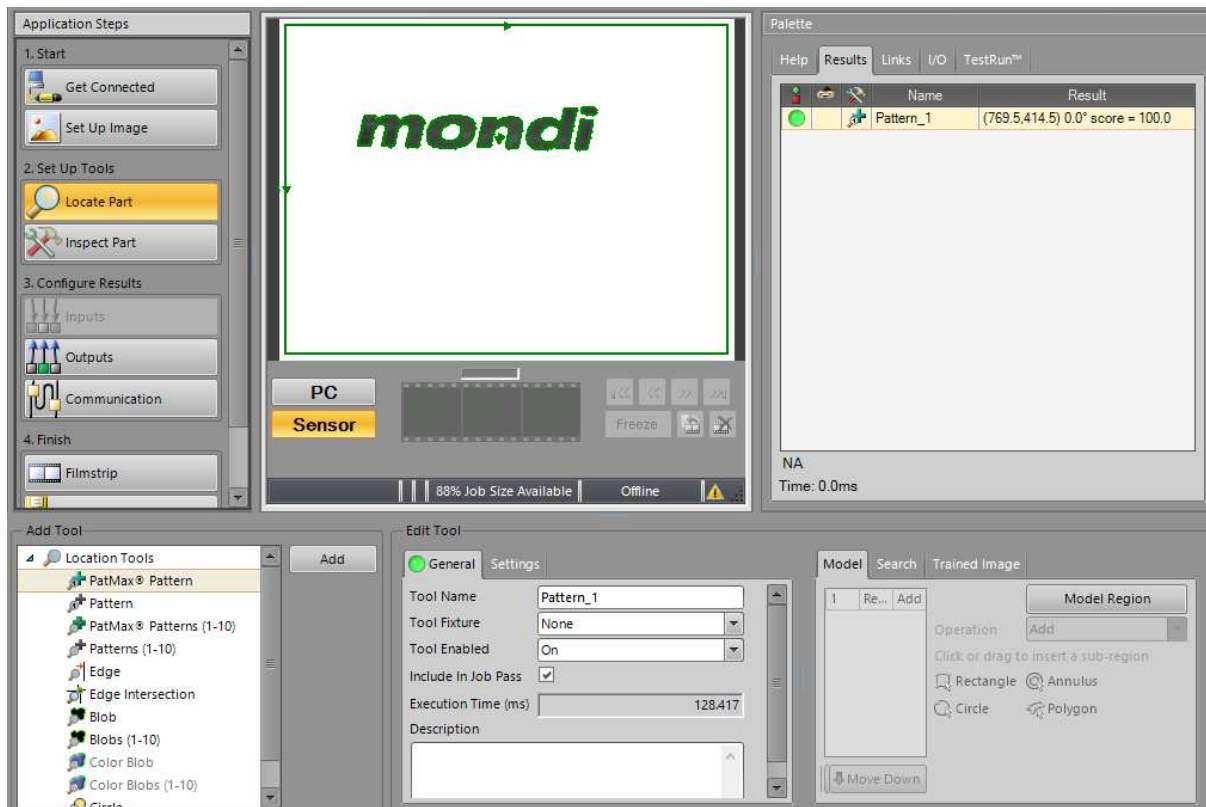


Fig. 6. Edge detection using PatMax

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

After editing the image to such a quality until we can uniquely define individual letters is another option to create an operation that will be performed after the required objects have been detected. The Outputs and Communication functions are used for this operation. Thanks to it, we are able to define outputs that we can use for PLC control. The IS 8402 camera provides 2 LED outputs and 2 digital outputs. We can use these outputs in the management process to perform the following activities. Using the Communication button, we have a choice of 3 types of communication types. One of these is the OPC. This type of communication serves to transmit information on HMI elements. Suitable if the customer asks for a visualization of the scanning process. Another defined communication protocol is EasyView. The focus is on simple communication between Cognex devices. The third type is FTP. We also have the option to add a device. Several types of devices can be added here. Here you can choose from PLC, robot or other. We will use the robot option for our application. Since Cognex cameras are compatible with different robots from different manufacturers, they automatically offer us a selection of manufacturers such as ABB, Fanuc, Denso, Mitsubishi, Staubli, and of course we will also find the option of wherever we can define our own robot. We chose ABB because we have the opportunity to try this communication and ABB robot training at the lab.

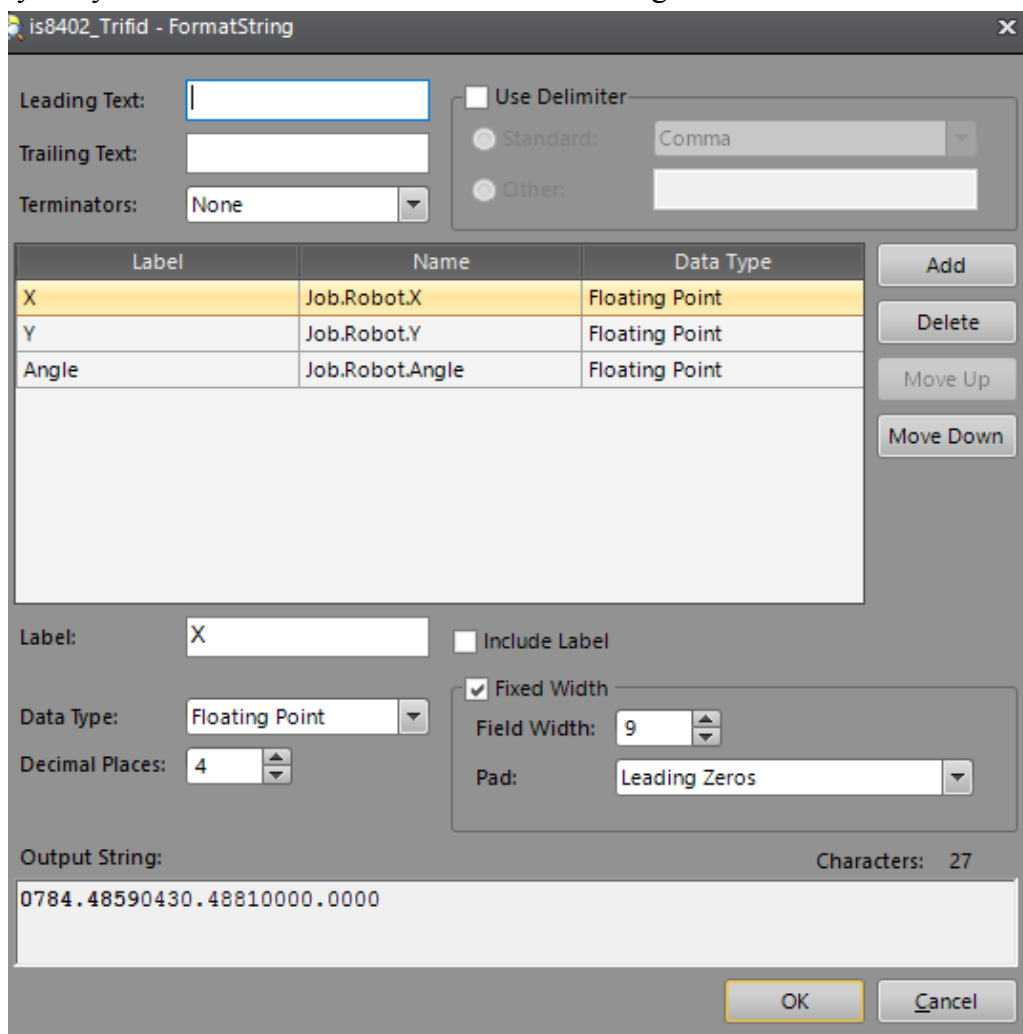


Fig. 7. Parameter setting when controlling the robot

Conclusions. The proposed test facility consists of a frame, a camera and a conveyor. The workplace produces only 25 cubes per minute under test conditions. To increase productivity, it is advisable to extend the number of posts. The camera was also selected for its ability to communicate with the robot interface. Cognex supports collaboration with ABB robots. The program creates code that is compatible with the robot's control program and defines the posi-

tion of the goods in the space. This makes it easy to connect and then robotize the workstation if the company decides for this solution.

Acknowledgement. This contribution is the result of the project implementation: Aplikovaný výskum systémov inteligentnej manipulácie priemyselných robotov s neorientovanými 3D objektmi, (ITMS:26220220164), supported by the Research & Development operational Program funded by the ERDF.

References

1. Cognex et al. (2017). *IN-SIGHT 8000 SERIES VISION SYSTEMS* [in English].
2. Vagaš, M., Sukop, M., Baláž, V. & Semjon, J. et al. (2012). The 2D camera sensors are used to calibrate the 3D vision system. *International Scientific Herald*, 2(3), 234-237 [in English].
3. Sukop, M., Hajduk, M., Varga, J. & Vagaš, M. (2012). Image processing and object founding in the robot soccer application. *International Scientific Herald*, 2 (3), 203-206 [in English].
4. Hajduk, M., Baláž V., Sukop M., Evin M., Vagaš M. et al. (2007). *Robotized cell for palletization with ccd camera*. In: Engineering Failure Analysis. OPTIROB. Bren. Bren Publishing House, 211-213 [in English].
5. Jadlovský J., Marcin J. et al. (2008). *Utilization of camera inspection systems for quality control in production* [in English].
6. Sukop M. et al. (2012). Implementation of Two Cameras to Robotic Cell for Recognition of Components. *Applied Mechanics and Materials : ROBTEP 2012 : 11th International Conference on Industrial, Service and Humanoid Robotics*, 282, 167-174 [in English].
7. Baláž, V., Vagaš, M., Semjon, J. & Rusnák, R. (2016). Camera system of industrial robots. *Applied Mechanics and Materials: Automation and Robotics in Production Engineering*, 844, 68-74 [in English].

УДК 004.424.5

Ондрей Юруш, Люсія Коуколова

РОЗУМНА КАМЕРА ДЛЯ ПРОСТИХ ЗАДАЧ СОРТУВАННЯ

Актуальність теми дослідження. Час відвідування має велике значення у виробничій сфері. Жодне виробниче підприємство не може дозволити собі нехтувати автоматизацією й модернізацією своїх процесів. Саме тому компанія, орієнтована на виробництво автомобільних аксесуарів, звернулася до нас.

Постановка проблеми. Вихідні позначки робляться наприкінці виробничого процесу людьми. Цей контроль був ненадійним, і його надійність знижувалася зі збільшенням робочого часу. Усе більша кількість заявлених випадків вимагало від компанії вибору нового вирішення проблеми. Нами було запропоновано вирішення щодо проектування робочого місця за допомогою камери, щоб прочитати описи ящиків. Друга мета – розглянути можливість подальшої роботизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ми не маємо справу з основними принципами обробки зображень. Основні функції обробки зображень виконує програмне забезпечення камери, використовуючи при цьому більш високі функції пошуку об'єктів.

Постановка завдання. У цій статті пропонується впровадження візуальної системи в реальну експлуатацію. Створено просте рішення, що відповідає вимогам клієнтів, чия економічна віддача буде більш цікавою.

Вигляд основного матеріалу. Використовується звичайна камера з захопленням області. Вона фіксує кадри як карту областей пікселів. Для визначення базового об'єкта вибрано визначення чорного і білого переходу. Опис, зроблений на білому папері, що використовується як опис вікна, дозволяє легко розпізнавати об'єкти у фоновому режимі.

Висновки відповідно до статті. Запропонована випробувальна установка складається з рами, камери й конвеєра. Робоче місце випускає тільки 25 кубів за хвилину в умовах випробувань. Для підвищення продуктивності рекомендується збільшити кількість постів. Камера також була обрана завдяки її здатності комунікувати з інтерфейсом робота. Програма створює код, сумісний із програмою керування роботом і визначає положення товару в просторі. Це полегшує підключення та наступну роботизацію робочої станції, якщо компанія прийме таке рішення.

Ключові слова: камера; cognex; сканування області; у полі зору.

Рис.: 7. Табл.: 1. Бібл.: 7.

Ondrej Juruš – PhD student, Department of robotic, Technical University of Kosice (Park Komenského 8., 040 01 Košice, Slovakia).

E-mail: ondrj.jurus@tuke.sk

Scopus Author ID: 57201321175

Lucia Koukolová – scientist - researcher, assistant of Department of robotic, Technical University of Kosice (Park Komenského 8., 040 01 Košice, Slovakia).

E-mail: lucia.koukolova@tuke.sk

Scopus Author ID: 56335874900

РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 629.374.7

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-187-195

Юрій Денисов, Олег Шаповалов, Олег Серета, Євгеній Куц

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Актуальність теми дослідження. З огляду на зростання ролі безпілотних літальних апаратів у народному господарстві й у військовій сфері проблема підвищення їхньої енергоефективності та якості управління є актуальною.

Постановка проблеми. Через обмежений енергетичний ресурс безпілотного літального апарата (БПЛА) є необхідність збільшення тривалості його польоту за рахунок якісного управління процесом енергоспоживання від акумулятора обмеженої ємності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій за рішенням поставленої проблеми свідчить про те, що питання підвищення енергоефективності БПЛА практично не обговорюються. Наявні публікації переважно присвячені побудові їх систем управління.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У роботах, присвячених зазначеній проблемі, питання підвищення енергоефективності систем управління БПЛА за рахунок забезпечення високої якості їхніх динамічних процесів не досліджуються.

Постановка завдання. При обмеженій ємності акумулятора необхідно підвищити тривалість польоту БПЛА за рахунок зниження перерегулювання і тривалості перехідних процесів у системах його електроприводів.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої проблеми запропоновано систему електроприводів БПЛА виконувати на основі трьох контурів. Внутрішнім контуром є контур струму з оптимальним за швидкодією і без перерегулювання перехідним процесом. Він підпорядкований контуру швидкості, де структура й параметри регулятора синтезовані їх критерієм швидкодії. Головним контуром є контур кута крила БПЛА з оптимальною швидкодією.

Висновки відповідно до статті. Запропоноване рішення структури системи електроприводу БПЛА дає змогу значно підвищити автономність його польоту.

Ключові слова: електропривод; безпілотний літальний апарат; оптимальна швидкодія; енергоефективність.

Рис.: 4. Бібл.: 5.

Актуальність теми дослідження. Нині сфери застосування безпілотного літального апарата (БПЛА) розширюються, а їх модифікації постійно удосконалюються. Для народного господарства особливий інтерес становлять малогабаритні БПЛА для моніторингу параметрів навколишнього середовища, аерофотозйомки місцевості, контролю стану нафто- і газопроводів, у сільському господарстві для контролю стану посівів і т. ін. Здатність БПЛА якісно виконувати покладені на них функції залежить від багатьох факторів, найважливішим з яких є якість енергетичних і динамічних характеристик систем електроприводів, керуючих режимами його польоту. Основним чинником, що обмежує тривалість польоту БПЛА, є кінцева ємність акумулятора, від якого живляться силові та інформаційні компоненти систем електроприводів. Тому актуальним є завдання економної витрати енергетичного ресурсу акумулятора, що можна досягти за допомогою якісного керування.

Постановка проблеми. Через обмежений енергетичний ресурс БПЛА є проблема збільшення тривалості його польоту, яку пропонується вирішити завдяки оптимізації процесу енергоспоживання за допомогою якісного керування, що враховує взаємозалежність енергетичних та інформаційних процесів

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій за рішенням поставленої проблеми [1-2] свідчить про те, що питання підвищення енергоефективності БПЛА практично не обговорюються. Наявні публікації здебільшого присвячені побудові їх систем керування та навігації.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У роботах, присвячених поставленій проблемі, питання підвищення енергоефективності систем керування БПЛА за рахунок забезпечення високої якості їхніх динамічних процесів не досліджуються.

Постановка завдання. При обмеженій ємності акумулятора необхідно підвищити тривалість польоту БПЛА з чотирма двигунами (квадрокоптер) за рахунок зниження перерегулювання і тривалості перехідних процесів у системах його електроприводів.

Виклад основного матеріалу.

1. Структурна схема САР для стабілізації режиму польоту БПЛА.

Бортова система керування польотом квадрокоптера включає в себе ряд блоків, що забезпечують її надійне функціонування (рис. 1).

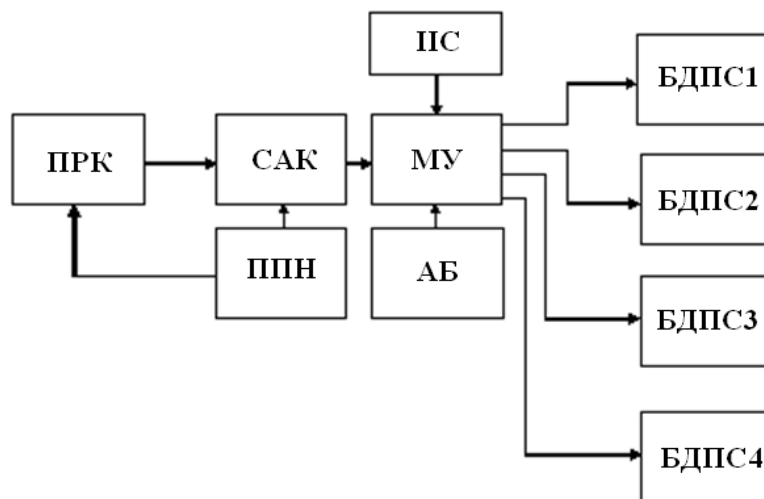


Рис. 1. Структурна схема системи керування БПЛА:

ПРК – приймач сигналу керування в ручному режимі; САК – система автоматичного керування комутаторами безколекторних двигунів постійного струму (БДПС) за допомогою широтно-імпульсної модуляції його напруги живлення за синусоїдальним законом; МУ – модуль управління режимами роботи БДПС1 - БДПС4 для стабілізації і навігації польоту БПЛА; ППН – перетворювач постійної напруги для живлення ПРУ і САУ; АБ – акумуляторна батарея; ІС – інерціально імпульсна система для фіксації поточних параметрів режиму польоту

У системах керування БПЛА входи і виходи широтно-імпульсних модуляторів є зовнішніми портами для прийому сигналів із приймача й керування контролерами комутаторів двигуна. Найбільш важливою ланкою в організації процесу управління є інерціально вимірювальна система, яка виконана у вигляді компактної інтегральної схеми, що включає в себе трьохосьовий акселерометр і гіроскоп, а також 3-осьовий магнітометр виконаний на інтегральній схемі. Вона виконує роль датчиків поточних значень швидкості і кутів для відповідної осі. Інформація з датчиків обробляється фільтрами Калмана.

Розглянемо процес стабілізації кутів квадрокоптера. У роботі [1] в системі електропривода використаний пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор для кожної з осей обертання – крен, тангаж та ривок. У зазначеній роботі ПІ-регулятор формує сигнал, керуючий ШІМ напруги живлення комутатора БДПС. Його параметри визначаються експериментально, а в роботі [2] – з використанням нейронної мережі. У роботах [1], [2] не зазначений зв'язок поточних значень кута й кутової швидкості з параметрами регулятора БДПС, що забезпечує оптимальне протікання енергодинамічних процесів за критеріями якісного енергоспоживання і швидкодії.

У зв'язку з цим виконаємо оптимізацію керування режимом стабілізації БПЛА за зазначеними критеріями. Оскільки контрольованими параметрами є споживаний від акумулятора струм, швидкість обертання і кут нахилу, то система керування електроприводом повинна бути триконтурна (рис. 2), з контролем зазначених трьох параметрів. Головний контур відпрацьовує помилку по куту за результатами вимірювання відхилення його поточного значення від еталонного кута $\alpha_{ст}$.

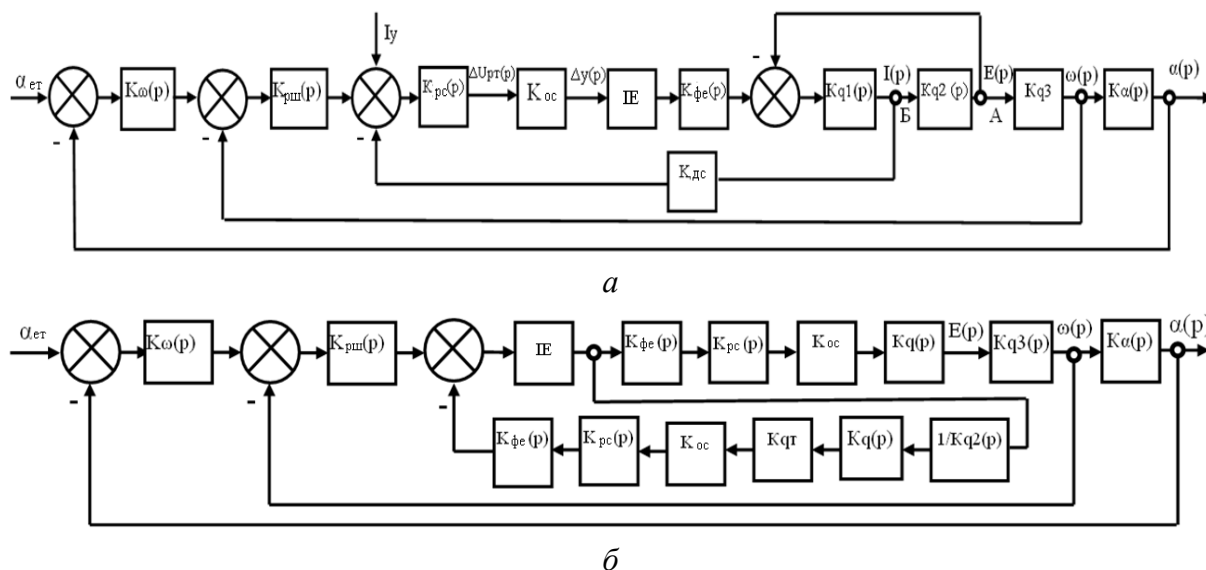


Рис. 2. Структурна схема системи стабілізації кутів БПЛА:
а – вихідна; б – перетворена

У контур кута крену включені датчики швидкості й кута повороту навколо відповідної осі. Датчик кута з передаточною функцією $K_{\alpha}(P) = \frac{1}{PT_{\alpha}}$ здійснює інтегрування швидкості на частоті 200 Гц із періодом $T_{\alpha}=5$ мсек. Датчик швидкості з передаточною функцією $K_{\omega}(p)=pT_{\omega}$ – здійснює диференціювання кута з постійною T_{ω} . Це час, протягом якого вихідний сигнал датчика швидкості порівнюється з вхідним сигналом.

У контур швидкості включені ланки з передаточними функціями $K_{д2}(p) = \frac{R}{PT_{ем}}$ – формує е.р.с. протидії двигуна $E(p)$, ланка $K_{д3} = \frac{9,88}{C_{ЕБ}}$ – формує частоту обертання $\omega(p)$.

У наведених передаточних функціях: $T_{ем} = J \frac{R}{C_{МБ} C_{ЕБ}}$ – електромеханічна стала БДПС, де J – момент інерції електроприводу; $C_{МБ} = \frac{\pi P \Psi_M}{12 \cos \varphi}$ – постійна моменту, де P – кількість полюсів ротора БДПС, Ψ_M – його максимальне потокозчеплення; $\cos \varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$, де R – активний опір обмотки статора, $L=L_C+M$ – сума власної індуктивності і взаємної індуктивності обмотки; $C_{ЕБ} = \frac{\Psi_M}{\sqrt{2} B_0}$, де B_0 – коефіцієнт фазної е.р.с. комутатора [3].

У контур швидкості включений регулятор швидкості, передаточну функцію якого необхідно знайти в результаті синтезу за критерієм швидкодії.

Внутрішній контур струму визначає темп і характер процесу наростання струму, здійснює його обмеження на рівні струмової уставки I_y , що призводить до економного витрачання енергоресурсу акумулятора. У контур струму включений ПІ-регулятор струму з передаточною функцією $K_{rc}(p) = \frac{R(1+PT_e)}{K_{cy} PT_{it} K_{dc}}$, де $T_e = \frac{L}{R}$ – електрична постійна, T_{it} – постійна інтегрування по струму, K_{dc} – коефіцієнт передачі датчика струму. Передаточна функція формуючого елемента $K_{fe}(p) = \frac{1-e^{-pT}}{p}$. Це фіксатор нульового порядку, період роботи якого T дорівнює періоду вихідної напруги комутатора. Таке представлення передаточної функції комутатора в системі керування, що реалізує синусоїдальний закон ШІМ, обґрунтовано в роботі [4], де показано, що в цьому випадку в спектрі Уолша вихідної напруги комутатора присутня лише функція $Sal 1, \bar{t}$, амплітуда якої в процесі синусоїдальної ШІМ змінюється за лінійним законом із постійним коефіцієнтом підсилення K_{sl} . Статичний коефіцієнт підсилення контуру струму

$K_{oc}=K_{si}K_{cy}$, де $K_{cy} = \frac{\Delta y}{\Delta U_{pr}}$ – коефіцієнт підсилення системи керування комутатором БДПС, ΔU_{pr} – зміна вихідної напруги регулятора струму, Δy – зміна шпаруватості імпульсів на виході системи керування, при зміні напруги на його вході в діапазоні ΔU_{pr} .

Коефіцієнт підсилення імпульсного елемента ІЕ контуру струму дорівнює одиниці, ланка з передаточною функцією $K_{d1}(P) = \frac{1}{R(1+PT_e)}$ формує струм, споживаний обмоткою БДПС від акумулятора.

Перетворимо схему рис. 2, а в схему рис. 2, б, для чого перенесемо точку підключення датчика струму «Б» в точку «А» через ланку з передаточною функцією $K_{d2}(P)$, а також усі ланки контуру струму, крім імпульсного елемента, перенесемо в ланцюг зворотного зв'язку контуру струму й у контур швидкості.

У перетвореній схемі передаточна функція БДПС $K_d(P) = \frac{K_{d1}(P)K_{d2}(P)}{1+K_{d1}(P)K_{d2}(P)}$.

У результаті отримуємо, що $K_d(P) = \frac{1}{T_e T_{em} P^2 + T_{em} P + 1}$. Полюса передаточної функції БДПС $P_{1,2} = -\frac{1}{2T_e} \pm \frac{1}{2T_e} \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_{em}}}$. Якщо $T_{em} \leq 4T_e$, то БДПС володітиме коливальними властивостями, що небажано, тому необхідно виконати умову: $T_{em} \gg 4T_e$. Якщо знаменник $K_d(P)$ представити у вигляді:

$$P^2 T_{em} T_e + P T_{em} + 1 = (T_1 P + 1)(T_2 P + 1), \text{ де } T_1 = \frac{T_{em}}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4T_e}{T_{em}}}\right),$$

$T_2 = \frac{T_{em}}{2} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4T_e}{T_{em}}}\right)$, то передаточна функція БДПС $K_d(P) = \frac{1}{P T_{em} + 1}$, оскільки $T_{em} \gg 4T_e$.

2. Оптимізація контурів системи стабілізації польоту БПЛА за швидкодією

а) Контур струму.

Передаточна функція наведеної неперервної частини (ННЧ) ланцюга зворотного зв'язку перетвореного контуру струму (рис. 2, б) має вигляд:

$$K_{ннч}(P) = K_{oc} K_{дс} \frac{1 - e^{-PT}}{P} \frac{R(1 + PT_e)}{K_{oc} K_{дс} P T_{it}} \frac{P T_{em}}{R} \frac{1}{T_{em} \left(p + \frac{1}{T_{em}}\right)}$$

Після скорочень $K_{ннч}(P) = \frac{1 - e^{-PT}}{P} \frac{1 + PT_e}{T_{it}} \frac{1}{P + \frac{1}{T_{em}}}$.

Переходячи до відносної комплексної змінної $q = pT$, отримуємо:

$$K_{ннч}(q) = \frac{1 - e^{-q}}{q} \frac{1 + q \bar{T}_e}{\bar{T}_{it}(q+d)}, \text{ де } \bar{T}_{it} = \frac{T_{it}}{T}, d = \frac{T}{T_{em}}, \bar{T}_e = \frac{T_e}{T}.$$

Відповідно до теореми розкладання

$$K_{ннч}(q) = (1 - e^{-q}) \left(\frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q+d} \right), \text{ де } A_1 = \frac{1}{\bar{T}_{it} d},$$

$$A_2 = -\frac{1 - d \bar{T}_e}{\bar{T}_{it} d} - \text{вирахування для полюсів } q_1=0, q_2=-d.$$

Дискретна передаточна функція ланцюга зворотного зв'язку контуру струму є модифіковане Z_m – перетворення передаточної функції ННЧ, тобто

$$W_{oc}^*(Z, \varepsilon) = Z_m \left[\left(\frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q+d} \right) (1 - e^{-q}) \right] = A_1 + \frac{A_2 e^{-d\varepsilon} (Z-1)}{Z - e^{-d}},$$

де $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Її «ліве» значення в момент спрацьовування імпульсного елемента

$$W_{oc}^*(Z, -0) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 1} Z^{-1} W_{oc}^*(Z, \varepsilon) = \frac{A_1 (Z - e^{-d}) + A_2 (Z-1) e^{-d}}{Z (Z - e^{-d})}. \quad (1)$$

Дискретна передаточна функція замкнутого перетвореного контуру струму

$$W_{зс}^*(Z, -0) = \frac{1}{1 + W_{oc}^*(Z, -0)}.$$

З урахуванням (1) отримуємо

$$W_{3c}^*(Z, -0) = \frac{z(z-e^{-d})}{z^2 - z(e^{-d}(1-A_2) - A_1)e^{-d(A_1-A_2)}}. \quad (2)$$

З (2) видно, що процес у замкнутому контурі струму можна встановити за період вихідної напруги комутатора без перерегулювання, якщо дискретна передаточна функція замкнутого контуру струму буде мати вигляд:

$$W_{3c}^*(Z, -0) = \frac{z-e^{-d}}{z} \quad (3)$$

Для цього необхідно виконати умови:

$$A_1 + A_2 e^{-d} = e^{-d},$$

$$A_1 + A_2 = 0, \text{ тобто якщо } A_2 = \frac{-e^{-d}}{1-e^{-d}} = \frac{d\bar{T}_e - 1}{\bar{T}_{it}d},$$

звідки отримуємо умову для вибору постійної інтегрування контуру струму:

$$\bar{T}_{it} = \frac{(1-e^{-d})(1-d\bar{T}_e)}{de^{-d}}.$$

б) Контур швидкості.

Передаточна функція ННЧ контуру швидкості

$$K_{ннч}(p) = \frac{1 - e^{-pT} R(1 + pT_e)}{p} K_{oc} \frac{9,88}{C_{ЕБ}} \frac{1}{1 + PT_{ем}}.$$

Після переходу до відносної комплексної змінної і необхідних перетворень отримуємо:

$$K_{ннч}(q) = K_{oc} \frac{(1-e^{-q})(1+q\bar{T}_e)}{q^2(q+d)} \quad (4)$$

де $K_{oc} = \frac{9,88Rd}{K_{дт}\bar{T}_{it}C_{ЕБ}}$.

Представимо (4) у вигляді:

$$K_{ннч}(q) = K_{oc} [(1 - e^{-q}) (\frac{B_1}{q^2} + \frac{B_2}{q} + \frac{B_3}{q+d})], \quad (5)$$

де $B_1 = \frac{1}{d}$, $B_2 = \frac{d\bar{T}_e - 1}{d^2}$, $B_3 = \frac{1 - d\bar{T}_e}{d^2}$ – вираження для полюсів $q_{1,2}=0$, $q_3=-d$.

Піддаючи (5) модифікованому Z-перетворенню, отримуємо дискретну передаточну функцію ННЧ контуру швидкості

$$W_{ннч}^*(Z, \varepsilon) = K_{oc} \frac{B_1(Z-e^{-d})[1+\varepsilon(Z-1)]+(Z-1)[B_2(Z-e^{-d})+B_3e^{-d\varepsilon}(Z-1)]}{(Z-1)(Z-e^{-d})}. \quad (6)$$

З (6) отримуємо її «ліве» значення в момент спрацьовування імпульсного елемента

$$W_{ннч}^*(Z, -0) = K_{oc} \frac{ZB_1(Z-e^{-d})+(Z-1)[B_2(Z-e^{-d})+B_3e^{-d}(Z-1)]}{Z(Z-1)(Z-e^{-d})}. \quad (7)$$

Дискретну передаточну функцію розімкнутого контуру швидкості знайдемо в результаті перемноження (3) і (7).

$$W_{рш}^*(Z, -0) = K_{oc} \frac{ZB_1(Z-e^{-d})+(Z-1)[B_2(Z-e^{-d})+B_3e^{-d}(Z-1)]}{Z^2(Z-1)}. \quad (8)$$

Чисельник (8) представимо у вигляді:

$$P^*(Z,-0)=K_{oc}(K_2Z^2+K_1Z+K_0),$$

де

$$K_2 = B_1 + B_2 + B_3 e^{-d} = \frac{d+(d\bar{T}_e-1)(1-e^{-d})}{d^2},$$

$$K_1 = -[e^{-d}B_1 + B_2(1 + e^{-d})] = -\frac{de^{-d}+(d\bar{T}_e-1)(1+e^{-d})}{d^2},$$

$$K_0 = e^{-d}(B_2+B_3)=0, \text{ т.к. } B_2=-B_3.$$

Знаменник (8) без інтегратора $Q_1^*(Z, -0) = Z^2$ і з інтегратором $Q^*(Z,-0)=(Z,-1)Z^2$.

Процес у контурі швидкості можна встановити за три періоди вихідної напруги комутатора, що впливає з (8). Для цього необхідно виконати умову:

$$M^*(Z, -0) P^*(Z, -0) + (Z-1) N^*(Z, -0) = Z^3, \quad (9)$$

де $M^*(Z, -0) = a_0$ – поліном ступеня $l_M \geq r - 1 = 0$, тому що астатизм контуру швидкості $r = 1$, що впливає з (8). Поліном $N^*(Z, -0) = F_3 Z^3 + F_2 Z^2 + F_1 Z + F_0$ має ступінь $l_N \geq l_p = 3$, де $P = 2$ – порядок полінома $P^*(Z, -0)$. В результаті умова (9) матиме вигляд:

$$K_{oc}(K_2 Z^2 + K_1 Z) a_0 + (Z, -1)(F_3 Z^3 + F_2 Z^2 + F_1 Z + F_0) = Z^3, \quad (10)$$

з якого, прирівнюючи коефіцієнти при однакових показниках ступеня Z , отримуємо, що $F_0 = 0$, $F_2 = 1$, $F_3 = 0$, $K_{oc} K_2 a_0 + F_1 = 1$, $K_{oc} a_0 K_1 - F_1 = 0$, а значить $a_0 = \frac{1}{K_{oc}(K_1 + K_2)}$, $F_1 = \frac{K_1}{K_1 + K_2}$.

З урахуванням значень K_1 , K_2 отримуємо, що $a_0 = \frac{1}{K_{oc}[d(1-e^{-d}) - 2e^{-d}(d\bar{T}_e - 1)]}$,

$$F_1 = \frac{de^{-d} + (d\bar{T}_e - 1)(1 + e^{-d})}{2e^{-d}(d\bar{T}_e - 1) - d(1 - e^{-d})}.$$

Відповідно до [5] оптимальна дискретна передаточна функція коригувальної ланки має вигляд:

$W_K^*(Z, -0) = \frac{Q_1^*(Z, -0) M^*(Z, -0)}{(Z, -1)^{r-r_0} N^*(Z, -0)}$, де $r_0 = 0$ – порядок власного астатизму контуру швидкості.

У результаті урахування значень $Q_1^*(Z, -0)$, $M^*(Z, -0)$, $N^*(Z, -0)$ отримуємо:

$$W_K^*(Z, -0) = \frac{1}{K_{oc}(Z-1)[Z(K_1 + K_2) + K_1]}.$$

Дискретна передаточна функція оптимізованого по швидкодії контуру швидкості

$$W_{зш}^*(Z, -0) = P^*(Z, -0) \frac{M^*(Z, -0)}{Z^3} = \frac{K_1 Z + K_2}{(K_1 + K_2) Z^2}, \quad (11)$$

а Z -зображення його перехідної характеристики

$$H^*[Z, -0] = \frac{Z}{Z-1} W_{зш}^*(Z, -0).$$

Реалізуючи зворотне Z -перетворення, отримуємо оригінал перехідної характеристики оптимального за швидкістю контуру швидкості для її лівого значення від моменту спрацьовування імпульсного елемента:

$$H^*[n, -0] = \frac{K_1}{K_1 + K_2} [n - 1, -0] + \frac{K_1 + K_2}{K_1 + K_2} [n - 2, -0], \quad (12)$$

де $n = 1, 2 \dots$ номер періоду спрацьовування імпульсного елемента. З (12) видно, що процес у контурі швидкості закінчується за два періоди проходження вихідної напруги комутатора БДПС.

в) Контур стабілізації кута крену БПЛА.

Передаточна функція розімкнутого контуру стабілізації кута крену БПЛА

$W_{кр}^*(Z, -0) = K_\alpha W_{зш}^*(Z, -0)$. З урахуванням (11) отримано, що:

$$W_{кр}^*(Z, -0) = \frac{(ZK_1 + K_2)K_\alpha}{Z^2(K_1 + K_2)^2}, \quad (13)$$

де $K_\alpha = \frac{T\omega}{T\alpha}$.

Передаточна функція замкнутого контуру стабілізації крену БПЛА

$$W_{кр}^*(Z, -0) = \frac{W_{кр}^*(Z, -0)}{1 + W_{кр}^*(Z, -0)}.$$

З урахуванням (13) маємо: $W_{кр}^*(Z, -0) = \frac{(K_1 + K_2)K_\alpha}{Z^2(K_1 + K_2) + K_1 K_\alpha Z + K_2 K_\alpha}$,

де $K_\alpha = \frac{T\omega}{T\alpha}$.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

З передаточної функції $W_{кр}^*(Z, -0)$ видно, що в контурі крену БПЛА процес можна закінчити за два інтервали, якщо $K_1=0$, $K_2=0$ або $-(1 - e^{-d})(d \bar{T}_e - 1) = d$;

$(1 + e^{-d})(d \bar{T}_e - 1) = -de^{-d}$. Однак ці умови виконати важко.

Тому можна синтезувати регулятор для контуру стабілізації кута крену за такою ж методикою, що і для контуру швидкості.

Зовнішній вигляд досліджуваного квадрокоптера представлений на рис 3.



Рис. 3. Загальний вигляд квадрокоптера

На рис. 4 представлені осцилограми перехідних процесів фазних струму і напруги БДПС, корекція яких за допомогою синтезування регуляторів контурів системи рис. 2 дозволяє забезпечити оптимальну комбінацію між динамічними та енергетичними характеристиками системи керування БПЛА.

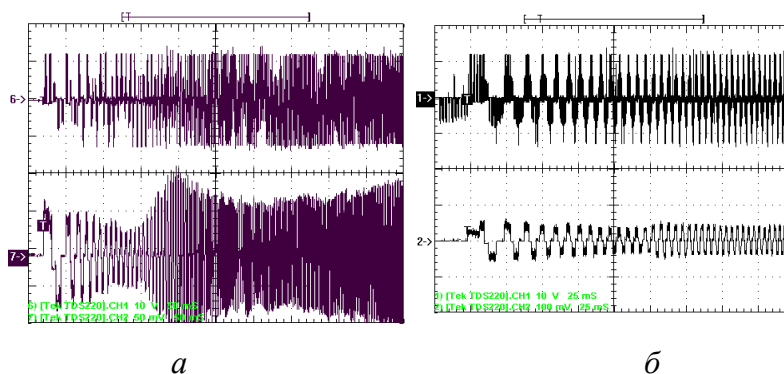


Рис. 4. Осцилограми перехідних процесів ДПТ:
а – фазної напруги; б – фазного струму

Для поліпшення енергетичних показників БПЛА, крім розглянутих рекомендацій, необхідно знижувати втрати потужності в комутаторі та БДПС за рахунок застосування високочастотних транзисторів і зниження потужності високочастотних гармонік у вихідному напрузі комутатора.

Висновок відповідно до статті. Запропоноване рішення системи електроприводу з оптимальними за швидкістю контурами струму, швидкості, кута дозволяє забезпечувати оптимальний процес споживання енергії від акумулятора без кидків струму під час перехідних процесів. Оптимізація електроприводів БПЛА, які забезпечують режими утримання висоти, позиції по GPS, повернення на точку старту можна виконати за тією ж методикою, що і для режиму стабілізації, що забезпечує нульовий крен, тангаж та ривкання.

Список використаних джерел

1. Шилов К. Е. Разработка систем автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного тока / К. Е. Шилов. – М. : Труды МФТИ, 2014. – Т. 6, № 4. – С. 139–151.
2. Стабилизация беспилотного летательного аппарата на основе нейросетевого регулятора / С. С. Андронов и др. – СПб. : Ун-т НИУИТМО, 2016. – Т. 16, № 5. – С. 796–800.
3. Контур тока для системы запуска газотурбинного двигателя вертолёта с бесколлекторной электромашинной постоянной тока / А. И. Денисов и др. // Наука і техніка повітряних сил Збройних сил України : щоквартальний науково-технічний журнал. – 2017. – № 4 (29). – С. 27–36.

4. Денисов Ю. А. Автономный инвертор напряжения как звено авторегулирования локальной системы электроснабжения высокой точности / Ю. А. Денисов // Технічні науки та технології. – 2017. – № 3 (9). – С. 144–155.

5. Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем / Я. З. Цыпкин. – М. : Наука, 1977. – 560 с.

References

1. Shilov, K. E. (2014). Razrabotka sistem avtomaticheskogo upravleniya bespilotnym letatelnyim apparatom multirotornogo toka [Development of automatic control systems for multi-rotor unmanned aerial vehicle]. *Trudy MFTI – Proceedings of MFTI*, 6 (4), 139-151 [in Russian].

2. Andronov, S. S. (2016). Stabilizatsiya bespilotnogo letatel'nogo apparata na osnove neyrosetevogo regul'yatora [Stabilization of an unmanned aerial vehicle based on a neural network controller]. *NIUITMO – NRU ITMO*, 5 (16), 796–800 [in Russian].

3. Denisov, A. I. (2017). Kontur toka dlia sistemy zapuska gazoturbinnogo dvigatel'ia vertolet'a s beskollektornoj elektromagnitnoj postoiannogo toka [Current loop for the launch system of a helicopter gas turbine engine with a brushless DC electric machine]. *Nauka i tekhnika povitrianykh syl Zbroinykh syl Ukrainy – Science and technology of air forces of the Armed Forces of Ukraine*, 4 (29), 27–36 [in Russian].

4. Denisov, Yu. A. (2017). Avtonomnii invertor napriazheniya kak zveno avtoregulirovaniia lokalnoi systemi elektrosnabzheniia visokoi tochnosti [Autonomous voltage inverter as a component of self-regulation of a local high-precision power supply system]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii: naukovyi zhurnal – Technical sciences and technologies*, 3 (9), 144-155 [in Russian].

5. Tsyppkin, Ya. Z. (1977). *Osnovy teorii avtomaticheskikh sistem [Fundamentals of the theory of automatic systems]*. Moscow: Nauka [in Russian].

UDC 629.374.7

Yuri Denisov, Oleg Shapovalov, Oleg Sereda, Yevhenii Kuts

OPTIMIZATION OF ENERGY DYNAMICAL PROCESSES IN THE CONTROL SYSTEM OF THE DRIVE FOR STABILIZING THE FLIGHT OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE

Urgency of the research. Considering the growing role of unmanned aerial vehicles in the national economy and in the military sphere, the problems of increasing their energy efficiency and quality of management are topical.

Target setting. Due to the limited power resource of an unmanned aerial vehicle (UAV), there is a need to increase the duration of its flight due to the high-quality control of the process of power consumption from a battery of limited capacity.

Actual scientific researches and issues analysis. Analysis of the latest publications on the solution of the problem posed indicates that the issues of increasing the energy efficiency of UAV are practically not discussed. The available publications are mainly devoted to the construction of their management systems.

Uninvestigated parts of general matters defining. In the works devoted to the problem, the issues of increasing the energy efficiency of UAV control systems due to ensuring the high quality of their dynamic processes are not investigated.

The research objective. With a limited capacity of the battery, it is necessary to increase the duration of UAV flight by reducing overshoot and the duration of transients in its electric drive systems.

The statement of basic materials. To solve the problem, the system of electric drives of UAV was proposed to perform on the basis of three circuits. The internal circuit is a current loop with a transient process that is optimal in speed and without overshooting. It is subject to the speed contour, the structure and parameters of its controller are synthesized by their performance criterion. The main contour is the contour of the wing angle of the UAV with the optimal speed.

Conclusions. The proposed solution to the structure of the UAV electric drive system can significantly increase the autonomy of its flight.

Keywords: electric drive; unmanned aerial vehicle; optimal speed; energy efficiency.

Fig.: 4. References: 5.

Денисов Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Denisov Yuri – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Electronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: den711td@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2293-7964>

ResearcherID: G-1144-2016

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Шаповалов Олег Леонідович – начальник відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєнь та військової техніки Збройних сил України (вул. Стрілецька, 1, 14033, м. Чернігів, Україна).

Shapovalov Oleg – Head of Department, State Research Institute of Tests and Certification of Armaments and Military Technique of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: ak1149cv@ukr.net

Серета Олег Володимирович – аспірант кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sereda Oleg – PhD student of Department of Industrial Electronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: seredaolegv@gmail.com

ResearcherID: G-86012-2017

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2270-0385>

Куц Євгеній Вячеславович – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kuts Yevhenii – student, Chernihiv National Technological University Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: fharse@gmail.com

ResearcherID: K-4380-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8062-0602>

УДК 621.314.1:621.383.51

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-196-208

*Костянтин Тительмаєр, Максим Хоменко***ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ДВОФАЗНИМ ДВОНАПРАВЛЕНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ З ЧЕРГУВАННЯМ ФАЗ**

Актуальність теми дослідження. Останніми роками спостерігається різке збільшення використання поновлювальних джерел електроенергії. Основні топології перетворювачів добре розглянуті та досліджені. Проте мало уваги приділяється методам керування двонаправлених перетворювачів для малої потужності. Тому є потреба в аналізі та порівнянні методів керування неізольованих перетворювачів для подальшого виявлення і застосування найбільш оптимальних.

Постановка проблеми. У процесі розроблення портативних систем живлення на базі відновлювальних джерел, розробникам доводиться вирішувати завдання побудови високоефективних та швидкодійних систем керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі та в базі IEEE Xplore, які стосуються методів керування двонаправленими перетворювачами постійної напруги.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз та вибір оптимального методу керування неізольованих двонаправлених перетворювачів.

Постановка завдання. Провести огляд та аналіз методів керування неізольованих двонаправлених перетворювачів постійної напруги.

Виклад основного матеріалу. Показана малосигнальна модель двофазного двонаправленого перетворювача та виведена динамічна модель його станів. Проведено огляд основних методів керування, а саме класичний метод із використання ПД-регулятора та метод із передбаченням по моделі. Порівняно результати моделювання цих методів для двонаправленого перетворювача.

Висновки відповідно до статті. Результати порівняння показують, що метод передбачення по моделі показує кращі динамічні характеристики, однак вимагає більших затрат на розрахунки, що варто враховувати при проектуванні системи загалом.

Ключові слова: *dc-dc перетворювач; двонаправлений перетворювач; неізольований перетворювач; відновлювальні джерела електроенергії; методи керування.*

Рис.: 6. Табл.: 2. Бібл.: 28.

Актуальність теми досліджень. Останніми роками спостерігається різке збільшення використання поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) та всіх видів електричних транспортних засобів (ЕТЗ). Зростання генерованої потужності за 2016 рік склали: фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) збільшилася на 22 %, становивши 227 ГВт; вітротурбіни зросла на 14,5 %, становивши 433 ГВт [1–3]. Наприклад, зараз Німеччина виробляє близько 40 % споживаної електроенергії за допомогою поновлюваних джерел; Коста-Ріка у 2015 році досягла 99 % генерації поновлюваної електроенергії. Альтернативні джерела живлення (компактні вітротурбіни або тонкоплівкові ФЕП) стали тенденцією розвитку для портативних застосувань [3–4]. Ковдра з гнучких ФЕП, яке може встановлюватись на будь-якій поверхні [4], буде досить корисною в багатьох застосуваннях для підзарядки портативних електронних пристроїв.

Постановка проблеми. Загалом, технології, описані вище, вимагають двонаправлений інтерфейс живлення з мінімальними втратами між двома шинами постійної напруги або шиною та пристроєм зберігання енергії (акумулятор, суперконденсатор тощо). Для цих цілей необхідно використовувати двонаправлені перетворювачі постійної напруги (ДППН). У застосуваннях із невеликим коефіцієнтом підвищення або пониження напруги, загальноприйнятим є використання неізольованих перетворювачів [11; 12]. У порівнянні з ізольованими перетворювачами, неізольований забезпечує більш високий ККД, високу питому потужність, менші габарити й меншу вартість.

Одне з поширених рішень збільшення питомої потужності полягає у збільшенні частоти перемикання напівпровідникових пристроїв. Але звичайний Si напівпровідникові перемикачі мають обмежену частоту перемикання, близько 200-300 кГц, за рахунок поганих динамічних властивостей. Щоб подолати цю проблему використання широкозонних гетероструктур, таких як AlGaIn/GaN є гарним рішенням [13–15]. Унікальні властивості цих напівпровідників (широка заборонена зона, високі значення рухливості носія та швидкість насичення, високий коефіцієнт теплопровідності та ін.) привели до виникнення пристроїв на їх основі, які мають рекордні значення потужності, напруги та струму, а також частоти перемикання (1-2 МГц). Висока частота комутації дозволяє використовувати надзвичайно

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

малі пасивні елементи. Водночас, згідно з [9], втрати в пасивних елементах стають усе більше критичні і обмежують частоту комутації. Подальше вдосконалення DSP-мікропроцесорів для генерації високочастотної ШІМ до 2 МГц (HRPWM функція в сімействі Piccolo, Texas Instruments) без використання додаткової CPLD або FPGA дає змогу зменшити вартість та підвищити питому потужність [16].

На рис. 1 показана типова система з трьома портами, яка має гнучку ФЕП панель, акумуляторні батареї та навантаження. Це рішення з низьким рівнем вихідної потужності що буде розроблено для різних портативних застосувань. Вартість, розмір та об'єм такого пристрою визначають доцільність застосування таких пристроїв [5–10]. У цьому конкретному випадку система базується на двофазному ДППН із магнітозчепленими індуктивностями.

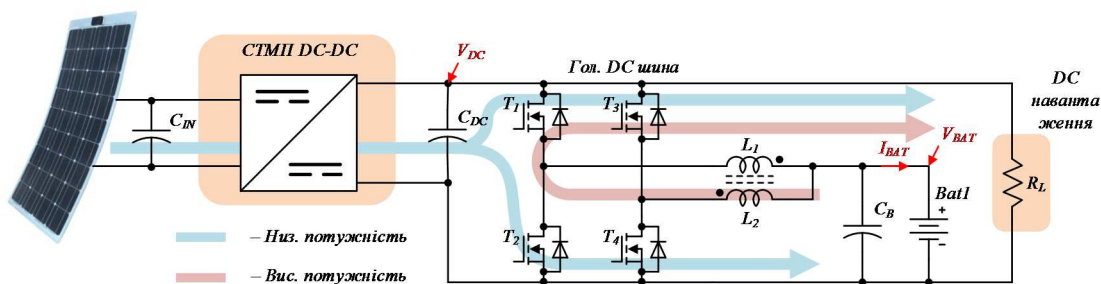


Рис. 1. Загальний вигляд графа станів розподільної мережі без врахування комутаційного обладнання та пристроїв релейного захисту

Як результат, якість керування рівнем напруги на загальній dc шині є вирішальним фактором у загальній якості та продуктивності системи. Ця стаття показує порівняння класичного методу керування з ПІД-регулятором та методу на основі передбачення за моделлю для керування напругою на dc шині.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Є небагато науково-дослідницьких робіт, присвячених моделям двонаправлених перетворювачів зі спареними індукторами [19; 22]. Повна модель запропонованої топології була проаналізована за допомогою методу усереднення мало сигнальної лінеаризованої моделі в просторі станів у безперервному режимі або в режимі граничної провідності [17; 18; 20; 21].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Таким чином, актуальною є задача порівняння методів керування неізолюваними двонаправленими перетворювачів електроенергії для використання в портативних системах електроживлення на базі фотоелектричних перетворювачів.

Постановка завдання (цілей статті). Мета статті полягає в огляді й аналізі та порівнянні методів керування двофазними двонаправленими перетворювачами постійної напруги з чередуванням фаз.

Виклад основного матеріалу. На рис. 2 показані еквівалентні стани двофазного двонаправленого перетворювача із магнітозв'язаними індукторами, які працюють у режимі безперервної провідності в напрямку розряду батареї. Індуктори представлені за допомогою еквівалентної схеми, яка містить: ідеальний трансформатор із коефіцієнтом трансформації $N1:N2$ (1:1 для нашого та більшості випадків), індуктивність намагнічування L_M та індуктивність розсіювання L_L . Така модель була обрана для зменшення порядку системи та спрощення обчислень.

Резистори R_{Sn} являють собою опори відкритих транзисторів $R_{DS(on)}$ та послідовного опору індуктивностей R_{LS} . Оскільки загальна система передбачає роботу на вулиці за будь-якої температури, акумулятори LiFePO4 були вибрані для підвищення надійності та безпеки. V_B складається з двох послідовно з'єднаних елементів, кожна з яких становить 3,3 В (максимум 6,6 В).

Рисунок 2, а відповідає інтервалу, коли проводять транзистор T_2 та T_3 (індуктивність L_L накопичує енергію). Оскільки в цьому випадку робочий цикл основних транзисторів $D_S < 0,5$ (вхідна напруга 6,6 В, вихідна напруга 12 В), рис. 2, б представляє другий та четвертий інтервали. Рисунок 2, в відповідає третьому інтервалу, коли проводять транзистор T_1 та T_4 (індуктивність L_L накопичує енергію). І, нарешті, на рис. 2, г показано другий і четвертий інтервали, коли робочий цикл $D_S > 0,5$ (напруга V_B падає нижче 6 В).

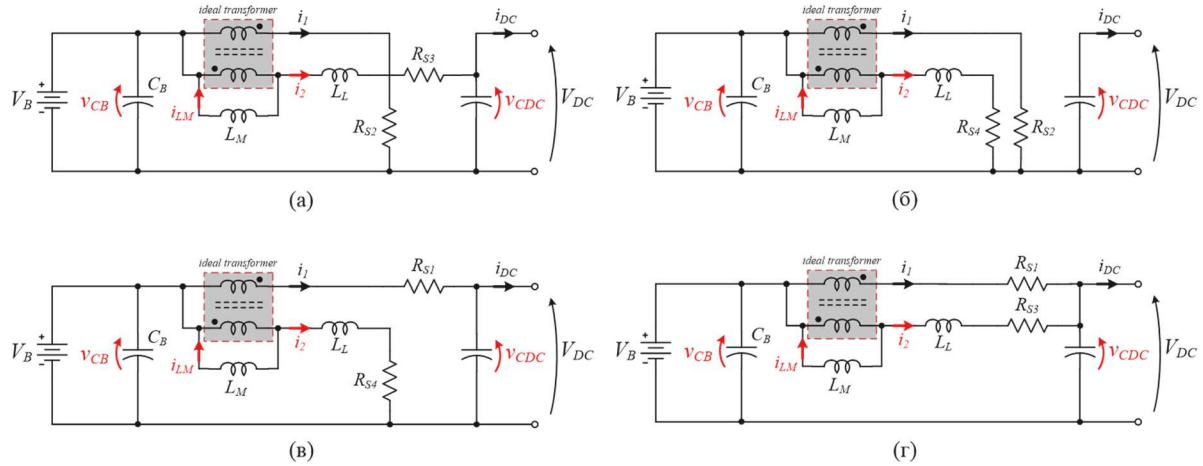


Рис. 2. Еквівалентні стани двофазного ДППН у робочих режимах: режим 1 (а), режим 2 та 4 (б, г) та режим 3 (в)

Будь-яка усереднена модель у просторі станів може бути представлена в матричній формі:

$$\begin{aligned} x^T(t) &= [i_2 \quad i_{LM} \quad V_{CDC}]; \\ u^T(t) &= [i_{DC} \quad V_B]; \\ y^T(t) &= [i_2 \quad i_B \quad V_{DC}]. \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{cases} K \frac{dx(t)}{dt} = A_i x(t) + B_i u(t) \\ y(t) = C_i x(t) + E_i u(t), \end{cases} \tag{2}$$

де K, A_i, B_i, C_i, E_i – коефіцієнти матриць на i -ому інтервалі; $x(t)$ – сталий вектор; $u(t)$ – вектор вхідних змінних; $y(t)$ – вектор вихідних змінних.

На підставі рис. 2, з урахуванням (1), (2) та склавши системи диференціальних рівнянь для кожного стану за допомогою законів Кірхгоффа, можна отримати матриці A, B, C та E для кожного інтервалу:

$$\begin{aligned} A_1 &= \begin{bmatrix} -2R_S & -R_S & -1 \\ -R_S & -R_S & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}; & A_2 &= \begin{bmatrix} -2R_S & -R_S & 0 \\ -R_S & -R_S & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \\ A_3 &= \begin{bmatrix} -2R_S & -R_S & 1 \\ -R_S & -R_S & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}; & A_4 &= \begin{bmatrix} -2R_S & -R_S & 0 \\ -R_S & -R_S & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \tag{3}$$

$$B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}. \tag{4}$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; E = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Далі усереднена система рівнянь для одного періоду перемикання в матричній формі:

$$\begin{cases} \frac{d\langle x(t) \rangle_T}{dt} = A_{av} \langle x(t) \rangle_T + B_{av} \langle u(t) \rangle_T, \\ \langle y(t) \rangle_T = C_{av} \langle x(t) \rangle_T + E_{av} \langle u(t) \rangle_T \end{cases}, \quad (6)$$

де $A_{av}, B_{av}, C_{av}, E_{av}$ – середні коефіцієнти матриць на i -тому інтервалі:

$$\begin{cases} A_{av} = \langle D_s(t) \rangle (K^{-1}A_1) + \langle D'_s(t) \rangle (K^{-1}A_{24}) + \langle D_s(t) \rangle (K^{-1}A_3) \\ B_{av} = \langle D_s(t) \rangle (K^{-1}B_1) + \langle D'_s(t) \rangle (K^{-1}B_{24}) + \langle D_s(t) \rangle (K^{-1}B_3), \\ C_{av} = C; E_{av} = 0 \\ D_A(t) + D_S(t) = 1, \end{cases} \quad (7)$$

де $D_S(t) = 1 - D_A(t)$ – інтервал паузи.

Отже, усереднені матриці станів досліджуваної системи є наступними:

$$A_{av} = \begin{bmatrix} -2R_S/L_L & -R_S/L_L & 0 \\ -R_S/L_M & -R_S/L_M & (1-D_S)/L_M \\ 0 & (-1+D_S)/C_{DC} & 0 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$B_{av} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/L_M \\ -1/C_{DC} & 0 \end{bmatrix}; C_{av} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; E_{av} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Крім того, усі усереднені стани, вхідна напруга та керуючий сигнал представляють у вигляді постійної та змінної складової малих амплітуд із частотою значно нижче, ніж частота перемикання перетворювача:

$$\begin{cases} \langle x(t) \rangle_T = X + \tilde{x}(t); \langle u(t) \rangle_T = U + \tilde{u}(t); \langle y(t) \rangle_T = Y + \tilde{y}(t); \\ \langle D_s(t) \rangle_T = D_S + \tilde{d}(t); \langle D'_s(t) \rangle_T = 1 - 2D_S - \tilde{d}(t). \end{cases} \quad (9)$$

Простий тест для того, щоб знайти рішення рівнянь у стаціонарному стані, де всі похідні дорівнюють нулю:

$$\begin{cases} 0 = A_{av}X + B_{av}U; \\ Y = C_{av}X + E_{av}U. \end{cases} \quad (10)$$

Підставляючи (6) у рівняння (2) та враховуючи (3)-(5), ігноруючи малу частину другого порядку і віднімаючи рівняння для стаціонарного режиму отримуємо такий результат:

$$K \frac{d}{dt} \tilde{X} = A\tilde{x} + B\tilde{u} + \begin{bmatrix} (K^{-1}A_1 - K^{-1}A_{24} - K^{-1}A_3)X + \\ + (K^{-1}B_1 - K^{-1}B_{24} - K^{-1}B_3)U \end{bmatrix} \cdot \tilde{d}. \quad (11)$$

Тоді, застосувавши перетворення Лапласа до (8), ми можемо записати вираз для малосигнальних моделей:

$$\begin{cases} \tilde{x}(s) = (sI - A)^{-1} \cdot B\tilde{u}(s) + (sI - A)^{-1} \cdot M \cdot \tilde{D}(s); \\ M = \left[(K^{-1}A_1 - K^{-1}A_{24} - K^{-1}A_3)X + (K^{-1}B_1 - K^{-1}B_{24} - K^{-1}B_3)U \right]; \\ \tilde{y}(s) = C \cdot \tilde{x}(s) = C(sI - A)^{-1} \cdot B\tilde{u}(s) + C(sI - A)^{-1} \cdot M\tilde{D}(s), \end{cases} \quad (12)$$

де I – діагональна одинична матриця. Зважаючи на (12) та враховуючи, що вхідні вектори на початку рівні нулю, функції передавальна функція для моделі малого сигналу в загальному випадку має вигляд:

$$\begin{bmatrix} G_{i2}(s) \\ G_{iB}(s) \\ G_{VDC}(s) \end{bmatrix}_{\tilde{u}(s)=0} = C \cdot (s \cdot I - A)^{-1} \cdot M. \quad (13)$$

Одним із найпростіших і ефективних рішень для керування напівпровідниковими перетворювачами в багатьох випадках є класичний ПД регулятор. На першому наближенні, структура системи керування представлена на Рис. 3 – замкнена система керування з ПД регулятором.

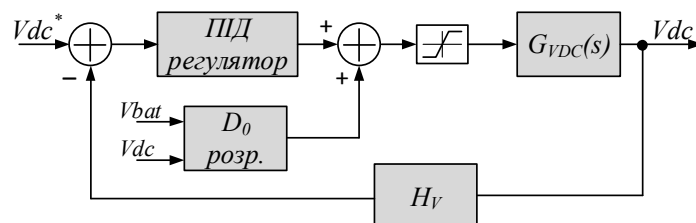


Рис. 3. Структура системи керування на основі ПД-регулятора

Представлена система керування двонаправленим перетворювачем була налаштована за допомогою програми *Matlab SISOtool*. Основними критеріями є мінімальне перевищення вихідної напруги і мінімальна статична похибка. Система не може бути налаштована на бажані параметри лише з П регулятором, тому використовувався ПД-регулятор.

Для перевірки коректності роботи системи керування й обраних параметрів регулятора було проведено моделювання. Параметри системи представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри моделювання системи

Параметр	Значення
Вхідна напруга, V_B	6,6 В
Вихідна напруга, V_{DC}	12 В
Індуктивності, L_1, L_2	3,5 мкГн
Коефіцієнт магнітозчеплення, k	-0.4
Частота перемикавання, f_{SW}	50 кГц
Ємність головної шини, C_{DC}	1100 мкФ
Максимальна вихідна потужність, P_{MAX}	100 Вт
Максимальна потужність від ФЕП, P_{PV}	10 Вт
Опір, R_S	20 мОм

Для спрощення моделювання частота перемикавання була обрана в 10 разів меншою, ніж частота перемикавання реальної системи, а номінали пасивних компонентів, відповідно, збільшені в 10 разів. По-перше, було перевірено номінальний запуск на 100 % від максимального навантаження. Як показано на рис. 4, а напруга головної шини досягає контрольного значення менш ніж за 1,5 мс зі значним перерегулюванням, і стає допустимою за приблизно 2 мс. Короткочасний імпульс струму акумулятора на початку перехідного періоду (рис. 4, б) може пояснюватися великою вихідною ємністю схеми оптимізатора. Наступним

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

кроком було дослідження регулювання при зміні навантаження. З цією метою навантаження було змінено з зарядки на розрядку на 100 % від його максимального значення за один крок. На рис. 4, а показано, що великі зміни навантаження практично не впливають на регульовану напругу. Коливання напруги головної шини становить лише 0,5 В, або 4,2 % від опорної напруги. На рис. 4, б показано додатковий приріст струму акумулятора через падіння напруги на внутрішньому опорі акумулятора.

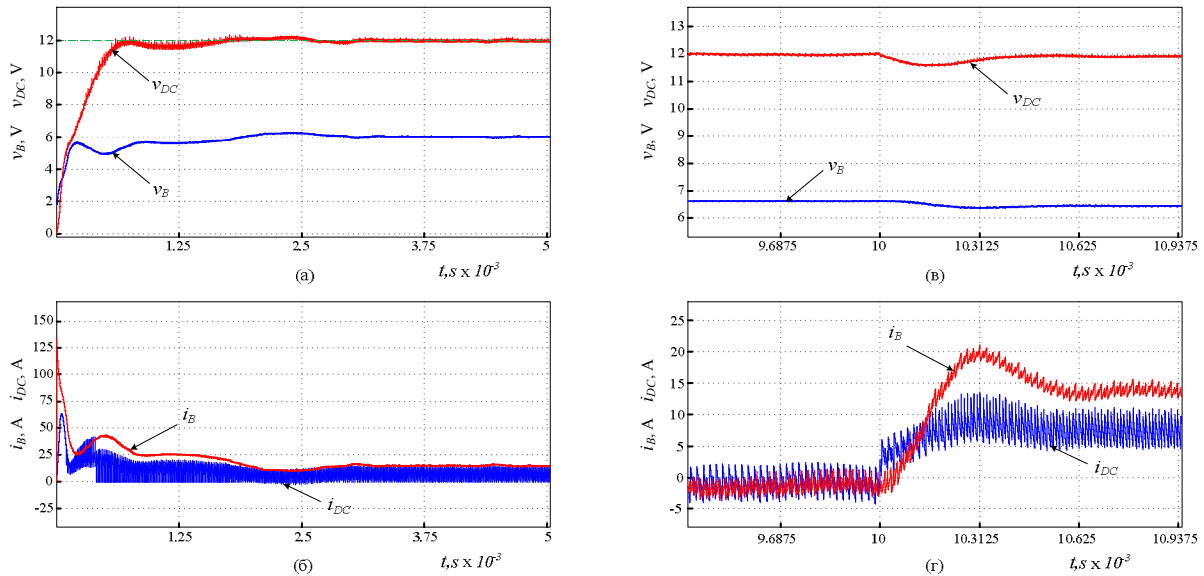


Рис. 4. Результати моделювання системи з ПІД-регулятором: перехідний процес початку роботи зі 100 % навантаженням (а, б), перехідний процес переходу системи від режиму заряду акумулятора до розряду (в, г)

Загалом запропонований алгоритм передбачення за моделлю (ПМ) може бути описаний таким чином: вимірюються основні параметри системи (напруга головної шини, напруга і струм акумулятора) та один параметр (струм навантаження) передбачається за заданою моделлю. Ці дані подаються на вхід дискретної моделі системи, вони вираховують передбачення станів системи та прогнозують напругу головної шини для різних значень шпаруватості. Потім застосовується вагова функція та обмеження, результат вагової функції є предметом мінімізації, функція, яка дає мінімальне значення, визначає шпаруватість керуючого сигналу, нарешті, генерується ШІМ-сигнал та розподіляється серед транзисторів перетворювача постійної напруги [23–28]. Структура запропонованої системи керування показана на рис. 5.

Використовуючи отримані раніше матриці (3)-(5), перейдемо до дискретної системи за допомогою перетворення Ейлера:

$$\begin{aligned} F &= I + T_s A, \\ G &= T_s B. \end{aligned} \tag{14}$$

де T_s – період перемикання перетворювача.

Матриці F та G будуть мати однаковий вигляд для значень шпаруватості $D_s > 0,5$ та $D_s < 0,5$. Тому вектори системи в дискретному вигляді можна представити як:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Fx(k) + Gv(k), \\ y(k) &= Cx(k). \end{aligned} \tag{15}$$

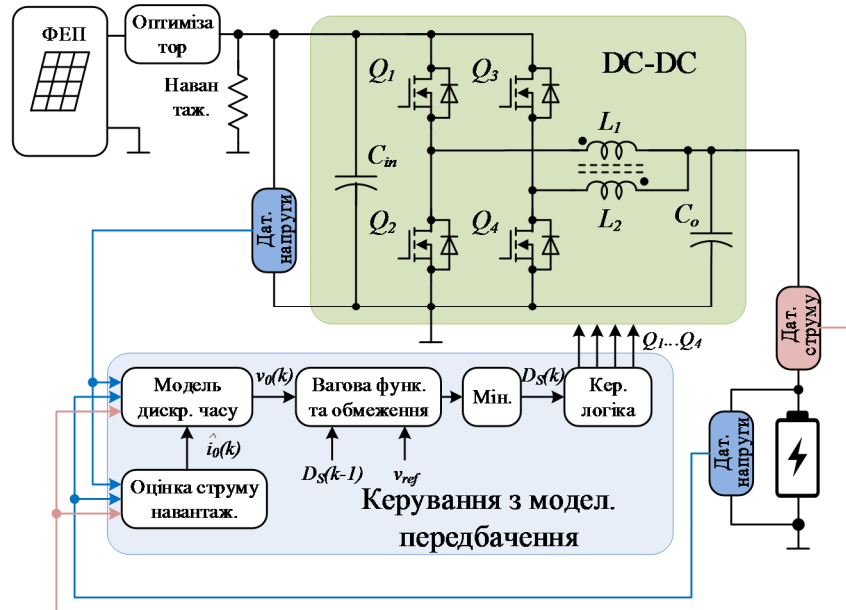


Рис. 5. Структурна схема запропонованого контролера ПМ для двонаправленого перетворювача

Система на рис. 5 не має датчика струму навантаження і використовує процедуру оцінювання замість прямого вимірювання. Тому такий підхід призводить до зменшення площі друкованої плати та кращої ефективності завдяки спрощенню схеми перетворювачів та відсутності додаткових втрат потужності у датчику струму. Крім того, параметри навантаження не були включені в дискретну модель системи, але струм навантаження розглядався як вхідна змінна цієї моделі, що робить систему незалежною від характеристик навантаження. Спостерігач Луенбергера другого порядку може бути використаний для оцінки струму навантаження. Спостерігач можна описати як:

$$\hat{x}_e(k+1) = \Phi \hat{x}_e(k) + \Gamma u_e(k) + H e(k), \tag{16}$$

$$\hat{y}_e(k) = M \hat{x}_e(k), \tag{17}$$

де $\hat{x}_e = [i_{DCO}, v_{DCO}]^T$ – вектор спостережуваного стану, що складається зі спостережуваного струму навантаження i_{DCO} та спостережуваної напруги постійного струму v_{DCO} . $u_e = [i_{L1} \ i_{L2}]^T$ – вхідний вектор, який складається зі струмів магнітозчеплених індуктивностей. $e = y_e - \hat{y}_e$ – помилка між вимірюваним виходом системи $y_e = v_{DC}$ та вихідним вектором $\hat{y}_e = v_{DCO}$. Матриці Φ , Γ та M виражаються таким чином:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -T_S & 1 \\ c_{DC} & \end{bmatrix}, \Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ T_S D_S & T_S D_S \\ c_{DC} & c_{DC} \end{bmatrix}, M = [0 \ 1]. \tag{18}$$

Матриця $H = [h1 \ h2]^T$ являє собою постійний коефіцієнт підсилення спостерігача, коефіцієнти $h1$ та $h2$ слід вибирати так, щоб полюси системи $\Phi \cdot H \cdot M$ лежали всередині одиничного кола. Розміщення полюсів має важливе значення для роботи спостерігача. Найшвидший час стабілізації (час, коли помилка між реальним і спостережуваним струмом буде близька до нуля), можна отримати, якщо обидва полюси цієї системи ро-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

зміщені в центрі одиничного кола. У цьому випадку вихід спостерігача буде вирішуватися лише на двох етапах квантування.

Алгоритм ПМ використовує стратегію відхилення горизонту для обчислення робочого циклу для поточного етапу вибірки. Для того щоб отримати довготривалий прогноз без надмірного обчислювального навантаження, була використана екстраполяційна стратегія. Завдяки цій стратегії весь прогнозний горизонт N_p поділяється на дві частини: горизонт перемикання N_s – кількість кроків, в яких робочий цикл може змінюватися, і екстраполяційний горизонт N_e – кількість кроків, коли робочий цикл має свою кінцеву цінність, отриману на останньому кроці перемикання. Крім того, весь діапазон напруги на конденсаторі головної шини поділений на дві області з різним кроком квантування робочого циклу. Грубе квантування використовується, коли напруга істотно відрізняється від контрольного значення. Точне квантування застосовується, коли напруга перебуває в задалегідь визначеній області, близькій до опорної напруги (у цій статті ця область визначається як $\pm 20\%$ опорної напруги). Тому адекватна точність керуючого сигналу може бути досягнута при збереженні відносно невеликої кількості рівнів квантування робочого циклу. Отже, обчислювальна складність однієї контрольної ступені ПМ можна знайти з формули

$$N_{comp} = \sum_{i=0}^{N_s-1} N_q^{(N_s-i)} + N_q^{N_s} N_e. \quad (19)$$

де N_{comp} – загальна кількість вимірів напруги v_{DC} для одного контрольного кроку алгоритму ПМ, N_q – кількість рівнів квантування робочого циклу.

Наприклад, прогнозний горизонт з 4 кроками та 10 рівнями квантування і без екстраполяції вимагає 11 110 обчислень напруги, тоді як той же прогнозний горизонт з однаковою кількістю рівнів квантування, але з 2 кроками перемикання та 2 етапами екстраполяції вимагає лише 310 розрахунків напруги шини постійної напруги.

Інша справа щодо розрахунку робочого циклу стосується належного вибору центру регіону, де потрібно перерахувати шпаруватість (через те, що використовується невелика кількість рівнів квантування, вони не охоплюють весь спектр дозволених робочих циклів). Центральну точку регіону, що становить інтерес, можна було б обчислити за допомогою вимірюваної величини напруги акумулятора v_B , опорної напруги v_{ref} та спостережуваного струму навантаження.

$$D_s(N_q/2) = \frac{v_B}{v_{ref} + 2Ri_{DCO}}. \quad (20)$$

Перераховані робочі цикли є об'єктом жорстких вхідних обмежень, і значення, які порушують верхню або нижню межу дозволеного регіону, відкидаються. Крім того, застосовуються м'які обмеження, що забороняють надмірні зміни робочого циклу.

Функція вартості була вибрана таким чином, що вона забороняє зміну помилки за кінцевим прогнозним горизонтом, включаючи суму абсолютних значень.

$$J(k) = \sum_{i=k}^{k+N_p-1} \left(p_a \|v_{ref} - v_{DC}(i+1|k)\| + p_b \|D_s(i-1) - D_s(i)\| \right), \quad (21)$$

де p_a – вага помилки вихідної напруги та p_b – вага зміни робочого циклу.

Унаслідок мінімізації (21) отримано оптимальну вихідну і вхідну послідовність. Перше значення $D_s(k)$ з оптимальної послідовності застосовується до перетворювача, а горизонт зміщується на одиницю, вимірюються нові значення напруги та струму, тоді алгоритм ПМ починається із самого початку.

Запропонований алгоритм ПМ був реалізований у Matlab Simulink. Використовуючи модель Matlab, була досліджена ефективність алгоритму керування. Параметри пе-

ретворювача наведені в табл. 1. Що стосується ПМ регулятора, горизонтал прогнозування є $N_p = 4$ (з $N_s = 2$ та $N_e = 2$), вибрані вагові коефіцієнти витрат $p_a = 1$ і $p_b = 0,5$.

Були досліджені ті ж самі перехідні процеси, що і для ПД регулятора: початок роботи з 100 % навантаженням (рис. 6, а, б) та зміна режиму роботи системи від заряду до розряду акумулятора (рис. 6, в, г). Як видно з рис. 6, а, напруга досягає контрольного значення менше, ніж через 1,5 мс без значного перевищення. Пульсації вихідної напруги становлять 150 мВ, а система має статичну похибку близько 60 мВ. Статична помилка пояснюється тим, що алгоритм ПМ не має інтегральної компоненти, а напруга прогнозування відрізняється від вимірюваного значення через спрощену модель перетворювача (не враховує всі паразитні параметри), яка використовується в процедурі прогнозування.

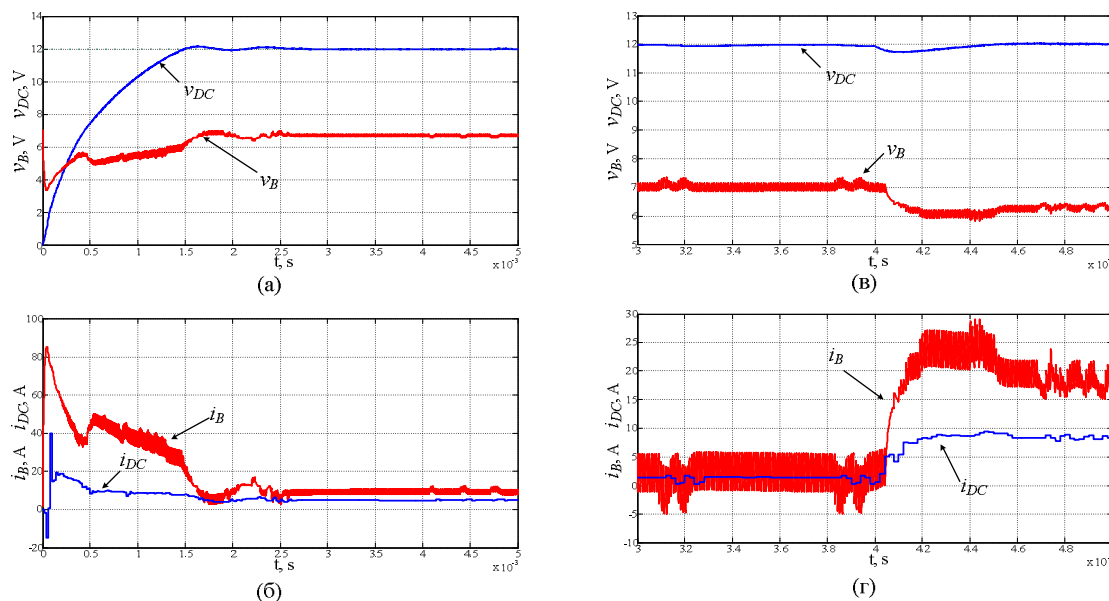


Рис. 6. Результати моделювання системи з регулятором ПМ: перехідний процес початку роботи зі 100 % навантаженням (а, б), перехідний процес переходу системи від режиму заряду акумулятора до розряду (в, г)

Короткочасний імпульс струму акумулятора на початку перехідного періоду (рис. 6, б) може пояснюватися великою ємністю вихідного конденсатора ланцюга оптимізатора фотоелектричних панелей, що розглядається алгоритмом ПМ як навантаження. На рис. 6, в, г показано зміну навантаження з 10 до 100 % його максимальної величини за один крок. З рис. 6, в можна побачити, що великі зміни навантаження практично не впливають на регульовану напругу (спад напруги лише 0,3 В, або 2,5 % від опорної напруги). На рис. 6, г показано додатковий ріст струму акумулятора через падіння напруги на внутрішньому опорі акумулятора.

У табл. 2 наведено порівняння параметрів систем при перехідних процесах для ПД регулятора та регулятора з передбаченням по моделі.

Таблиця 2

Порівняння параметрів систем при перехідних процесах для ПД-регулятора та регулятора з передбаченням за моделлю

Параметр	Значення (ПД)	Значення (ПМ)
Пульсації вихідної напруги	200 мВ	150 мВ
Статична похибка	70 мВ	60 мВ
Перерегулювання при зміні режимів роботи	450 мВ (3,8 %)	300 мВ (2,5 %)
Час старту	2 мс	1.5 мс

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Висновки відповідно до статті. Результати порівняння регуляторів на основі ПІД контролера та з передбаченням по моделі, представлені в табл. 2, показують що метод ПІМ показує кращі результати для цієї системи за всіма представленими критеріями. Однак треба зазначити, що регулятор ПІМ потребує значно більших обчислювальних затрат, що може стати завадою до його використання в портативних системах та системах з малою обчислювальною здатністю. Тому вибір оптимального регулятора полягає в комплексному врахуванні як можливостей самої системи, так і кінцевих якісних показників напруги або струму.

Список використаних джерел

1. *Renewables 2016 Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. – Paris, France, March 2016.
2. *Singer M. Consumer View on Plug-in Electric Vehicles – National Benchmark Report* / M. Singer // National Renewable Energy Laboratory. – USA, January 2016.
3. *The Future of Solar Energy*. Energy Initiative Massachusetts Institute of Technology, 2015.
4. *Chopra K. L. Thin Film Solar Cells (A Status Review)* / K. L. Chopra. // Laboratory for Thin Films and Photovoltaics, 2010.
5. *PWM Converter Power Density Barriers* / Kolar J., Drofenik U., Biela J., Heldwein M., Ertl H., Friedli T., Round S. // IEEJ Transaction on Industry Applications. – May 2007. – Vol. 128. – No. 4. – Pp. 9-29.
6. *Kolar J. The deal switch is not enough* / J. Kolar, D. Bortis, D. Neumayr // IEEE 28th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD). – 2016. – Pp. 15-22.
7. *Performance trends and limitations of power electronics systems* / Kolar J., Biela J., Waffler S., Friedli T., Badstuebner U. // In Proc. of the 6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems. – 2010. – 16-18 March. – Pp. 1-20.
8. *Measurement and Performance Factor Comparisons of Magnetic Materials at High Frequency* / Hanson A. J., Belk J. A., Lim S., Sullivan C. R., Perreault D. J. // IEEE Trans. on Power Electronics. – Nov. 2016. – Vol. 31, No. 11. – Pp. 7909-7925.
9. *Sullivan C. R. Prospects for Advances in Power Magnetics* / C. R. Sullivan // In Proc. of the 9th IEEE International Conference on Intergrated Power Electronics Systems (CIPS). – 2016. – Pp. 1-9.
10. *Wang H. Reliability of Capacitor for DC-Link Application in Power Electronics Converter – An Overview* / Wang H., Blaabjerg F. // IEEE Trans. on Industry Application. – Sep. 2014. – Vol. 50, No. 5. – Pp. 3569-3578.
11. *A Review of Non-Isolated Bidirectional DC-DC Converters for Energy Storage Systems* / Tytelmaier K., Husev O., Veligorskyi O., Yershov R. // In Proc. of II International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (10-14 Oct.). – 2016. – Pp. 1-7.
12. *Dawood N. B. Review of Different DC to DC Converters Based for Renewable Energy Applications* / N. B. Dawood // International Research Journal of Engineering and Technology. – May 2016. – Vol. 3, No. 3. – Pp. 46-50.
13. *Lidow A. GaN transistors – giving new life to Moore’s law* / A. Lidow // In Proc. of IEEE 27th International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC’s (ISPSD). – 2015. – Pp. 1-5.
14. *Si, SiC and GaN power devices: An unbiased view on key performance indicators* / Deboy G., Treu M., Haeberlen O., Neumayr D. // In Proc. of IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) (3-7 Dec. 2016). – 2016. – Pp. 1-4.
15. *A 1 MHz Half-Bridge Resonant DC-DC Converter Based on GaN FETs and Planar Magnetics* / Guan Y., Wang Y., Xu D., Wang W. // IEEE Trans. on Power Electronics. – June 2016. – Vol. 32. – No. 4. – Pp. 2876-2891.
16. *TMS320x2802x, 2803x Piccolo High Resolution Pulse Width Modulator (HRPWM)*. Reference Guide – February 2009 – revised October 2011.
17. *Carpita M. Dynamic modeling of a bidirectional DC/DC interleaved converter working in discontinuous mode for stationary and traction supercapacitor application* / Carpita M., De Vivo M., Gavin S. // International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM). – 2012. – Pp. 1306-1313.
18. *Bhardwaj M. Modeling Bi-Directional Buck/Boost Converter for Digital Control Using C2000 Microcontrollers*, Applicationa report, SPRABX5 – January 2015.

19. *Small-signal* analysis of multiphase interleaved boost converter with coupled inductors / Shin H.-B., Jang E.-S., Park J.-G., Lee H.-W., Lipo T. A. // *IEE Proceedings Electric Power Applications*. – 2005 – Vol. 152, No. 5. – P. 1161-1170.
20. *Dynamic* Analysis of Interleaved Boost Converter for Fuel Cell Applications / Seyezhai R., Ganta M., Nirupa P., Akshitha T. // *Journal of Engineering and Interdisciplinary*. – 2015. – Vol. 2. – P. 1-9.
21. *Moon S.-H.* Performance improvement of Bidirectional DC-DC Converter for Battery Charger Using LCLC Filter / Moon S.-H., Jou S.-T., Lee K.-B. // *Journal of Electrical Engineering and Technology*. – 2015 – Vol. 10, No. 2. – P. 1-8.
22. *Controller* Design for Interleaved Bidirectional DC-DC Converter with Coupled Inductors / Tytelmaier K., Husev O., Veligorskyi O., Khomenko M., Khomenko O. // *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. – 2017. – P. 1-6.
23. *Fuzzy* model predictive control of dc-dc converters / Hazil O., Bououden S., Chadli M., Filali S. // *In AETA 2013: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences*. – 2014. – Pp. 423-432.
24. *Karamanakos P.* Model predictive control of the interleaved DC-DC boost converter with coupled inductors / P. Karamanakos, T. Geyer, S. Manias // *Power Electronics and Applications (EPE): 15th European Conference*. – 2013. – Pp. 1–10.
25. *Modelling* and model predictive control of a DC-DC Boost converter / S. Bououden, O. Hazil, S. Filali, M. Chadli // *Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA). 15th International Conference*. – 2014. – Pp. 643-648.
26. *Direct* Model Predictive Control: A Review of Strategies That Achieve Long Prediction Intervals for Power Electronics / P. Karamanakos, T. Geyer, N. Oikonomou, F. D. Kieferndorf, S. Manias // *IEEE Industrial Electronics Magazine*. – 2014. – Vol. 8, Issue 1. – Pp. 32–43.
27. *Tarczewski T.* Grzesiak “Constrained state feedback control of DC-DC power converter based on model predictive approach / T. Tarczewski, Ł. J. Niewiara, L. M. Grzesiak // *Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA). 4th International Symposium*. – 2016. – Pp. 1-6.
28. Pirooz A. Model predictive control of classic bidirectional DC-DC converter for battery applications / A. Pirooz; R. Noroozian // *Power Electronics and Drive Systems Technologies Conference (PEDSTC). 2016 7th Conference*. – 2016. – Pp. 517–522.

References

1. Renewables 2016 Global Status Report (March 2016). *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, Paris, France.
2. Singer, M. (January 2016). *Consumer View on Plug-in Electric Vehicles – National Benchmark Report*. National Renewable Energy Laboratory, USA.
3. *The Future of Solar Energy*. Energy Initiative Massachusetts Institute of Technology (2015).
4. Chopra, K. L. (2010). *Thin Film Solar Cells (A Status Review)*. Laboratory for Thin Films and Photovoltaics.
5. Kolar J., Drofenik U., Biela J., Heldwein M., Ertl H., Friedli T., Round S. (May 2007). PWM Converter Power Density Barriers. *IEEEJ Transaction on Industry Applications*, 128 (4), 9-29.
6. Kolar, J., Bortis, D., Neumayr, D. (2016). The ideal switch is not enough. *IEEE 28th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD)* (pp. 15-22).
7. Kolar J., Biela J., Waffler S., Friedli T., Badstuebner U. (2010). Performance trends and limitations of power electronics systems. *In Proc. of the 6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems* (16-18 March 2010) (pp. 1-20).
8. Hanson, A. J., Belk, J. A., Lim, S., Sullivan, C. R., Perreault, D. J. (Nov. 2016). Measurement and Performance Factor Comparisons of Magnetic Materials at High Frequency. *IEEE Trans. on Power Electronics*, 31 (11), 7909-7925.
9. Sullivan, C. R. (2016). Prospects for Advances in Power Magnetics. *In Proc. of the 9th IEEE International Conference on Intergrated Power Electronics Systems (CIPS)* (pp. 1-9).
10. Wang, H., Blaabjerg, F. (Sep. 2014). Reliability of Capacitor for DC-Link Application in Power Electronics Converter – An Overview. *IEEE Trans. on Industry Application*, 50 (5), 3569-3578.
11. Tytelmaier, K., Husev, O., Veligorskyi, O., Yershov, R. (2016). A Review of Non-Isolated Bidirectional DC-DC Converters for Energy Storage Systems. *In Proc. of II International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering* (10-14 Oct. 2016) (pp. 1-7).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

12. Dawood, N. B. (May 2016). Review of Different DC to DC Converters Based for Renewable Energy Applications. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3 (3), 46-50.
13. Lidow A. (2015). GaN transistors – giving new life to Moore’s law. In *Proc. of IEEE 27th International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC’s (ISPSD)* (pp. 1-5).
14. Deboy, G., Treu, M., Haeberlen, O., Neumayr, D. (2016). Si, SiC and GaN power devices: An unbiased view on key performance indicators. In *Proc. of IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM)* (3-7 Dec. 2016) (pp. 1-4).
15. Guan, Y., Wang, Y., Xu, D., Wang, W. (June 2016). A 1 MHz Half-Bridge Resonant DC-DC Converter Based on GaN FETs and Planar Magnetics. *IEEE Trans. on Power Electronics*, 32 (4), 2876-2891.
16. *TMS320x2802x, 2803x Piccolo High Resolution Pulse Width Modulator (HRPWM)*. Reference Guide – February 2009 – revised October 2011.
17. Carpita, M., De Vivo, M., Gavin, S. (2012). Dynamic modeling of a bidirectional DC/DC interleaved converter working in discontinuous mode for stationary and traction supercapacitor application. *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)* (pp. 1306-1313).
18. Bhardwaj, M. (2015). Modeling Bi-Directional Buck/Boost Converter for Digital Control Using C2000 Microcontrollers, Application report, SPRABX5 – January 2015.
19. Shin, H.-B., Jang, E.-S., Park, J.-G., Lee, H.-W., Lipo, T. A. (2005). Small-signal analysis of multiphase interleaved boost converter with coupled inductors. *IEE Proceedings Electric Power Applications*, 152 (5), 1161-1170.
20. Seyerzhai, R., Ganta, M., Nirupa, P., Akshitha, T. (2015). Dynamic Analysis of Interleaved Boost Converter for Fuel Cell Applications. *Journal of Engineering and Interdisciplinary*, 2, 1-9.
21. Moon, S.-H., Jou, S.-T., Lee, K.-B. (2015). Performance improvement of Bidirectional DC-DC Converter for Battery Charger Using LCLC Filter. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 10 (2), 1-8.
22. Tytelmaier, K., Husev, O., Veligorskyi, O., Khomenko, M., Khomenko, O. (2017). Controller Design for Interleaved Bidirectional DC-DC Converter with Coupled Inductors. *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 1-6).
23. Hazil, O., Bououden, S., Chadli, M., Filali, S. (2014). Fuzzy model predictive control of dc-dc converters,” In *AETA 2013: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences* (pp. 423-432).
24. Karamanakos, P., Geyer, T., Manias, S. (2013). Model predictive control of the interleaved DC-DC boost converter with coupled inductors. *Power Electronics and Applications (EPE), 2013 15th European Conference* (pp. 1–10).
25. Bououden, S., Hazil, O., Filali, S., Chadli, M. (2014). Modelling and model predictive control of a DC-DC Boost converter. *Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, 15th International Conference (pp. 643-648).
26. Karamanakos, P., Geyer, T., Oikonomou, N., Kieferndorf, F. D., Manias, S. (2014). Direct Model Predictive Control: A Review of Strategies That Achieve Long Prediction Intervals for Power Electronics. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8 (1), 32–43.
27. Tarczewski, T., Niewiara, Ł. J., Grzesiak, L. M. (2016). Constrained state feedback control of DC-DC power converter based on model predictive approach. *Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA)*, 4th International Symposium (pp. 1-6).
28. Pirooz, A., Noroozian, R. (2016). Model predictive control of classic bidirectional DC-DC converter for battery applications. *Power Electronics and Drive Systems Technologies Conference (PEDSTC)*, 7th Conference (pp. 517–522).

UDC 621.314.1:621.383.51

Kostiantyn Tytelmaier, Maksym Khomenko

COMPARISON OF CONTROL METHODS FOR TWO-PHASE INTERLEAVED BIDIRECTIONAL CONVERTER

Urgency of the research. In recent years there has been a sharp increase in the use of renewable energy sources. The main topologies of the converters are well considered and studied. However, little attention is paid to the methods of controlling bidirectional converters for low power. Therefore, there is a need for analysis and comparable control methods for non-isolated converters to further detect and apply the most optimal.

Target setting. In the development of portable power systems based on renewable sources, developers have to solve the task of building high-performance and high-performance control systems.

Actual scientific researches and issues analysis. The latest open access and IEEE Xplore publications related to bidirectional dc-dc converters were reviewed.

Uninvestigated parts of general matters defining. Analysis and selection of optimal control method for non-isolated bi-directional converters..

The research objective. Make a review and analysis of control methods for non-isolated double-directional DC converters.

The statement of basic materials. A low-signal model of a two-phase bidirectional converter is shown and a dynamic model of its states is derived. An overview of the main methods of management, namely, the classic method for using the PID regulator and the model prediction method, are reviewed. Results of system modeling for bidirectional converter were made.

Conclusions. Comparison results show that the model prediction shows better dynamic characteristics, but requires more calculation costs, which should be taken into account when designing the system as a whole.

Keywords: dc-dc converter; bidirectional converter; non-isolated converter; renewable energy sources; control methods.

Fig.: 6. Table: 2. References: 28.

Тительмаєр Костянтин Олександрович – аспірант, асистент кафедри БРАС, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Tytelmaier Kostiantyn – PhD student, assistant of BRAS Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kostya.tytelmaier@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7582-0204>

ResearcherID: F-4365-2016

Scopus Author ID: 57188715517

Хоменко Максим Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри БРАС, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Khomenko Maksym – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of BRAS Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mr.homax@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9084-3527>

Scopus Author ID: 55796336900

Віктор Шевченко, Богдан Трейко,
Олександр Гусев, Богдан Пахалюк, Олег Хоменко

ОГЛЯД І ПОРІВНЯННЯ БАЗОВИХ ТОПОЛОГІЙ КОМПЕНСАЦІЇ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГІЇ

Актуальність теми дослідження. Проведення аналізу й порівняння популярних базових класичних топологій компенсації систем з індуктивною передачею енергії (ІПЕ), дасть змогу дослідникам обрати потрібну топологію компенсації при розробці високоефективних систем індуктивної передачі енергії, зокрема для бездротових зарядних пристроїв, акумуляторних батарей електротранспорту та інших приладів.

Постановка проблеми. Зацікавленість щодо використання технологій бездротової передачі енергії (БПЕ) зростає, що зумовлено безпекою та зручністю бездротових побутових пристроїв, простотою використання електричних приладів та електротранспорту.

З огляду на те, що будь-яка топологія компенсації базується на основі базових чотирьох класичних топологій, знання їхніх фізичних особливостей і роботи допоможе зрозуміти взаємодію більш складних комбінацій топологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті статті на тему бездротової передачі енергії, які описують математичні моделі топологій компенсації. Більшість існуючих статей висвітлюють різні питання реалізації конкретної топології, не відображаючи проблему загалом.

Виділення не досліджених частин загальної проблеми. Узагальнено інформацію по кожній топології, виділено їхні особливості й недоліки, а також приклади їх використання в конкретних випадках.

Постановка завдання. Основними завданнями є аналіз і порівняння найбільш поширених базових класичних топологій компенсації систем з індуктивною передачею енергії та рекомендації щодо їх вибору й застосування.

Викладення основного матеріалу. Розглянуто загальні відомості про чотири базові класичні топології схеми. Так само розглянуті вимоги до схем компенсації, яких треба дотримуватися для ефективної роботи схеми ІПЕ. Проведено аналіз та порівняльна характеристика базових топологій компенсації для ІПЕ. Були наведені переваги і недоліки кожної топології і сфери їх застосування.

Висновки відповідно до статті. Результатом огляду є виділення особливостей кожної базової топології, їхні переваги й недоліки, за допомогою яких можна вибрати необхідну топологію залежно від поставленого завдання.

Ключові слова: бездротова передача енергії; індуктивна передача енергії; топології компенсації; частота резонансу; незалежність від навантаження вихідні струм та напруга.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 17.

Актуальність теми дослідження. Щороку у світі зростає кількість приладів, пристроїв та систем бездротової передачі енергії, особливо ємнісного та індуктивного способу передачі. Ефективність і надійність таких систем збільшується, а вартість зменшується. Аналіз топологій за певними критеріями з визначенням переваг і недоліків кожної з них та надання рекомендацій щодо вибору топології компенсації залежно від параметрів системи і сфери застосувань є важливим етапом при розробці пристроїв та систем бездротової передачі енергії.

Постановка проблеми. Поширення використання ідеології бездротової передачі енергії (БПЕ) щороку невідмінно зростає. Цьому сприяють, звісно, і популярність, зручність і безпека бездротових побутових, промислових електричних пристроїв та електротранспорту. Проводяться не тільки теоретичні дослідження та виготовляються експериментальні зразки, а й відбувається масове поширення, особливо в економічно розвинутих країнах, пристроїв БПЕ в побуті для звичайних користувачів, на виробництві. У деяких країнах (особливо скандинавських країнах Європи та Німеччині, США) відбувається стимулювання споживачів до екологічного транспорту і пристроїв і виділяються державні дотації на купівлю електромобілів.

Будь-яка топологія компенсації базується на основі чотирьох класичних топологій (по одному конденсатору на первинній і вторинній сторонах послідовно або паралельно). Знання фізичних особливостей і роботи базових топологій компенсації допоможе також зрозуміти роботу більш складних комбінацій топологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті статті на тему бездротової передачі енергії, які описують математичні моделі топологій компенсації. Більшість існуючих статей висвітлюють різні питання реалізації конкретної топології, не відображаючи проблему загалом.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Хоча є певна кількість статей, присвячених дослідженню та аналізу математичних моделей топологій компенсації, інформація в них зазвичай є фрагментованою. Наприклад, у [1] проведено аналіз послідовно-послідовної та паралельно-паралельної топологій компенсації, але відзначено лише, що послідовно-послідовна топологія краща для бездротових зарядних пристроїв електромобілів. В деяких інших статтях проведено порівняння окремих аспектів топологій компенсації в конкретних умовах без зазначення переваг та недоліків та застосувань у практичних розробках [2]. Тому узагальнення та виокремлення важливих аспектів дасть дослідникам ясно зрозуміти можливості основних топологій компенсації ППЕ для застосування в конкретних випадках.

Мета статті. Основною метою статті є аналіз і порівняння найбільш поширених базових класичних топологій компенсації систем з індуктивною передачею енергії та рекомендації щодо їх вибору і застосування.

Виклад основного матеріалу.

Загальні відомості та вимоги до топологій компенсації.

Для котушок системи ППЕ без фізичного контакту, які працюють на частоті значно нижче власних частот резонансу, для компенсації індуктивності витоку, реактивної потужності на первинній та вторинній сторонах та формування резонансних ємностей потрібні додаткові компенсуючі конденсатори. У цьому випадку можлива відстань між котушками збільшується, а ефективність передачі-прийому збільшується [3]. Здебільшого використовується двостороння компенсація, і така система вже буде називатися магніторезонансною, з слабким коефіцієнтом зв'язку. Одностороння компенсація використовується нечасто, вона має менш регульовані параметри резонансу, які не можуть задовольнити всі критерії для розробки системи БПЕ.

Існує 4 базові класичні компенсаційні топології (рис. 1), на основі яких створюється переважна більшість напівпровідникових рішень: послідовно-послідовні (SS), послідовно-паралельні (SP), паралельно-послідовні (PS) та паралельно-паралельні (PP). Огляд схем і використання рішень на основі цих топологій можна знайти у статті [3], так само як і про способи передачі енергії. Зокрема, за допомогою індуктивного способу передачі енергії на сьогодні розроблені майже всі комерційно успішні рішення та системи БПЕ.

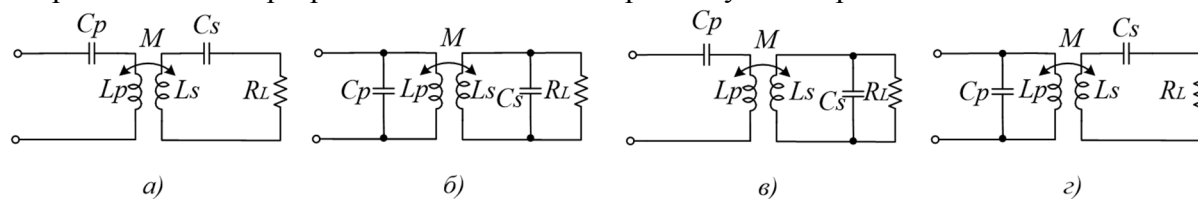


Рис. 1. Основні топології компенсації ППЕ:

a – послідовно-послідовна (SS); *б* – паралельно-паралельна (PP);
в – послідовно-паралельна (SP); *г* – паралельно-послідовна (PS)

Однак також використовуються та досліджуються інші компенсації, такі як LCC топологія та різноманітне поєднання компенсаційних котушок та конденсаторів [2; 4]. Одним з очевидних недоліків таких топологій є збільшення кількості пасивних елементів та проведення більш складних налаштувань і розрахунків.

Основні вимоги до схем компенсації описані в [2]. Однією з вимог є мінімізація вольт-амперних характеристик (ВАХ) та збільшення потужності передачі шляхом зменшення впливу вторинної котушки на вторинну сторону схеми. Окремим напрямком досліджень є слідування за точкою максимальної потужності та підтримка роботи системи біля цієї точки чи на певній ділянці кривої потужності.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Також бажано забезпечити постійну напругу або струм на виході (щоб не використовувати схему управління). Це, безумовно, буде як плюс для певних систем, таких як бездротові зарядки, живлення світлодіодів та ін.

Безперечно, при цьому повинна бути висока ефективність передачі енергії. Вона залежить від коефіцієнта зв'язку й добротності індуктивностей, а також від резонансної частоти вторинних та первинних сторін. При зміні позиції котушок це призводить до необхідності зміни частоти роботи. Для цього потрібен більш складний алгоритм управління. Високої ефективності можна досягти з допомогою м'якого перемикачів напівпровідників.

Серед інших вимог можна виділити біфуркаційну стійкість при нульовому куті фази (іншими словами, це – кількість робочих частот, пов'язаних із навантаженням, топологією та номінальним конденсатором). При різкому збільшенні кількості переданої енергії і може виникнути кілька режимів роботи (біфуркація) [5]. Для роботи без біфуркації контролер частоти повинен бути спроектований для роботи в межах біфуркації. Якщо системі можна працювати в біфуркаційній області, контролер повинен це передбачити та коректно відпрацювати в потрібному режимі роботи. Остання вимога про критерії біфуркації в поєднанні з контролером частоти та навантаження гарантує стабільну та високу продуктивність системи БПЕ.

Тобто чим більше вимог виконується, тим ефективніше працюватиме схема БПЕ із компенсацією.

Аналіз і порівняння базових топологій компенсації для ІПЕ.

Із чотирьох класичних топологій компенсації для індуктивної передачі енергії (ІПЕ) послідовно-послідовна та послідовно-паралельна найбільш поширені, особливо для бездротової зарядки. Це зумовлено їхніми особливостями та простотою, що аналітично буде показано далі. Ці компенсації мають найвищу ефективність серед інших класичних топологій [2; 6].

Дуже хороший аналіз топологій компенсації представлений у [7; 8]. Відзначено, що SS компенсація не залежить від коефіцієнта зв'язку (формули 1 і 2), а вихідний струм не залежить від навантаження на частоті резонансу. Послідовно-послідовна топологія, завдяки своїм особливостям, має меншу чутливість до зміни розташування котушок, при цьому частота резонансу не змінюється. Застосування SS компенсації є більш доцільним для великих потужностей, таких як заряджання акумуляторів електромобілів із навантаженням декілька одиниць і десятків кіловат [4; 9; 10].

Однак при потужності в декілька кіловат та десятків кіловат розміри котушок неодмінно слід збільшити при обох топологіях компенсації, щоб була достатня площа охолодження. Для деяких застосувань БПЕ (наприклад у біомедицині) температура пристрою не повинна перевищувати певні безпечні діапазони. Важливою перевагою SP топології є те, що вона вимагає меншої вторинної індуктивності [7], відповідно водночас потрібна більша первинна ємність [11]. Цю особливість доцільно застосовувати в біомедичних та інших компактних пристроях, наприклад бездротові зарядки для малопотужних транспортних засобів. Розміри та вага велосипеда є важливими та обмеженими, тому фізичний розмір приймального блоку повинен бути якомога меншим.

Для ілюстрації залежності компенсацій від коефіцієнта зв'язку необхідно розрахувати конденсатори для роботи на резонансній частоті. Всі подальші формули занесені до таблиці.

Параметри базових топологій компенсації для аналізу

Назва параметра	Топологія	Формула	№ формули
Первинна ємність C_p [7; 5]	SS	$C_p = \frac{1}{\omega_r^2 \cdot L_p}$	1
	PS	$C_p = \frac{L_p}{\left(\frac{\omega_r^2 \cdot M^2}{R}\right)^2 + \omega_r^2 \cdot L_p^2}$	2
	SP	$C_p = \frac{1}{\left(L_p - \frac{M^2}{L_s}\right) \cdot \omega_r^2}$	3
	PP	$C_p = \frac{L_p - M^2 / L_s}{\left(\frac{M^2 \cdot R}{L_s^2}\right)^2 + \omega_r^2 \cdot (L_p - M^2 / L_s)^2}$	4
Частоти для незалежних від навантаження вихідних струму та напруги [2]	ПВС для SS	$\omega = \omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_p \cdot C_p}}$	5
	ПВН для SS; ПВС для SP	$\omega_L = \sqrt{\frac{\omega_p^2 + \omega_s^2 - \Delta}{2 \cdot (1 - k^2)}}; \omega_H = \sqrt{\frac{\omega_p^2 + \omega_s^2 + \Delta}{2 \cdot (1 - k^2)}}$	6
	ПВН для SP	$\omega = \sqrt{\frac{1}{C_p \cdot \left(L_p + \frac{M \cdot L_s}{M + L_s}\right)}}$	7
Роздільне значення опору навантаження R'_L [17]	SS	$R'_L \approx Z_{C_s} = R_C + X_C = R_C + \frac{1}{2\pi F_r C_s}$	8
Еквівалентний опір ReZ_{rr} та індуктивність ImZ_{rr} [5]	Послідовна вторинна компенсація	$ReZ_{rr} = \frac{\omega_r^2 \cdot M^2}{R}; ImZ_{rr} = 0$	9
	Паралельна вторинна компенсація	$ReZ_{rr} = \frac{M^2 \cdot R}{L_s^2}; ImZ_{rr} = -\frac{\omega_r^2 \cdot M^2}{L_s}$	10
Критерії біфуркації [5]	SS	$Q_p > \frac{4Q_s^3}{4Q_s^2 - 1}$	11
	SP&PP	$Q_p > Q_s + \frac{1}{Q_s}$	12
	PS	$Q_p > Q_s$	13

Первинний конденсатор для SS топології розраховується за формулою (1), куди потрібно підставити лише первинну індуктивність L_p та частоту резонансу ω_r [7; 12], [5].

Для SP топології первинна ємність визначається за формулою (3), де взаєміндуктивність M означає залежність розрахованого значення від коефіцієнта зв'язку. Вибір топології сильно впливає на вибір первинної ємності.

Для SS та SP топологій вторинний компенсуючий конденсатор C_s розраховується також за формулою (1) [7], потрібно тільки підставити значення вторинної індуктивності L_s .

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Важливою перевагою SS топології є те, що первинна ємність не залежить як від коефіцієнта магнітного зв'язку, так і від навантаження. Натомість SP топологія залежить від коефіцієнта зв'язку. Базові топології із послідовним конденсатором на первинній стороні застосовуються при різних частотах і при різній потужності та показують чудову ефективність.

Дві інші топології з паралельним первинним компенсуючим конденсатором PS та PP мають значно об'ємніші формули розрахунку первинної ємності (формули (2) і (4)). Крім того, вони залежать не тільки від зміни коефіцієнта зв'язку, але й від зміни опору навантаження [5], [12].

У [13] зазначено, що PS та PP компенсації для ефективної роботи потребують додаткової послідовної індуктивності для регулювання струму перетворювача через паралельний резонансний контур. Ця індуктивність збільшує розміри перетворювача та вартість системи. Іншим важливим фактором є значення вхідного опору, що особливо велике в PS і PP топологіях. Для передачі достатньої кількості енергії потрібна висока напруга [14].

Але на противагу вищезазначеному, у [15] відзначено, що PP топологія є непоганим вибором у випадку відносно далекої відстані передачі електроенергії, оскільки за таких умов вона має відносно високу потужність передачі та ефективність (рис. 2). Тобто при досить незначному значенні коефіцієнта зв'язку і відповідно взаємоіндуктивності, як визначено при моделюванні.

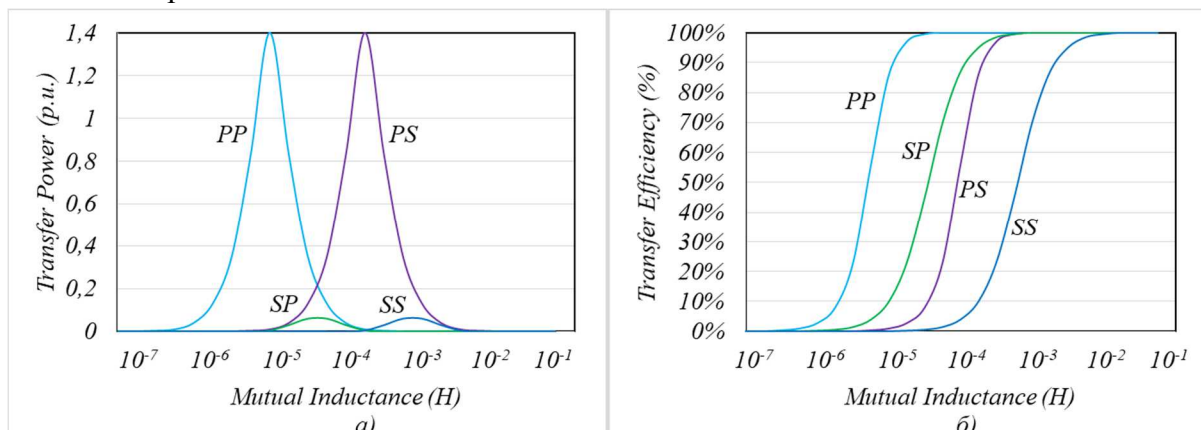


Рис. 2. Порівняння залежностей від взаємоіндуктивності для базових топологій:
а – передана потужність; б – ефективність

Джерело: [15].

Щодо вимоги про режими постійного вихідного струму чи напруги, то в найпростішому випадку їх можна досягти перемиканням топологій компенсації. Це можна зробити як на первинній, так і на вторинній стороні.

На певних частотах роботи і параметрах компенсації, можлива робота в режимі постійного вихідного струму (ПВС) чи постійної вихідної напруги (ПВН), що не залежить від зміни навантаження. У роботі дослідників [2] зазначено, що за допомогою SS та SP топологій в обох випадках компенсація може бути реалізована з вихідним постійним струмом або напругою. На двох робочих частотах у SP топології можна реалізувати режим, в якому вихідний струм не буде залежати від навантаження. Дві вищезгадані компенсаційні схеми мають найвищу ефективність серед класичних та модифікованих топологій, не в останню чергу через застосування лише двох компонентів компенсації.

Для SS компенсації визначено одну частоту, за якої відбувається робота в режимі ПВС [2]. Дуже зручно, що вона дорівнює резонансній частоті й залежить тільки від параметрів первинної компенсації (формула (5)):

Для роботи в режимі ПВН є дві частоти (нижня ω_L і верхня ω_H), які не збігаються із резонансною (формула (6)) у таблиці, де Δ – поправочний коефіцієнт; k – коефіцієнт зв'язку.

Для SP компенсації робота в режимі ПВН буде визначатись за формулою (7), а робота в режимі ПВС за формулою 6.

Єдиною різницею між двома компенсаціями є значення конденсаторів. Отже, згідно з даним аналізом, обидва типи компенсації можуть забезпечувати постійну вихідну напругу/постійний струм, але працювати на різних частотах.

Для бездротової зарядки електричних транспортних засобів для роботи в режимі постійного струму використовують SS компенсацію, а для роботи в режимі постійної напруги – SP [6; 16].

З іншої статті цих авторів [6], як продовження впливає, що в SS-топології для реалізації передачі напруги, яка не залежить від навантаження, буде дві робочі частоти (при резонансній частоті 200 кГц). Максимальна ефективність при SS компенсації може бути досягнута на більш високій частоті (але продуктивність буде трохи кращою при SP, як і більше передаточне відношення). Важливою при цьому є м'яка комутація (м'яке перемикавання транзисторів у інверторі), що зменшує втрати при перемиканні також і у випрямляючих діодах. Хоча, коли схема компенсації працює з високою ефективністю і тримає напругу, яка не залежить від зміни навантаження, м'яке перемикавання відбувається автоматично. При цьому можлива ефективна робота на високих частотах до одиниць мегагерц [8].

На рис. 3 зображені результати моделювання передачі напруги при різних умовах навантаження для SS та SP компенсацій.

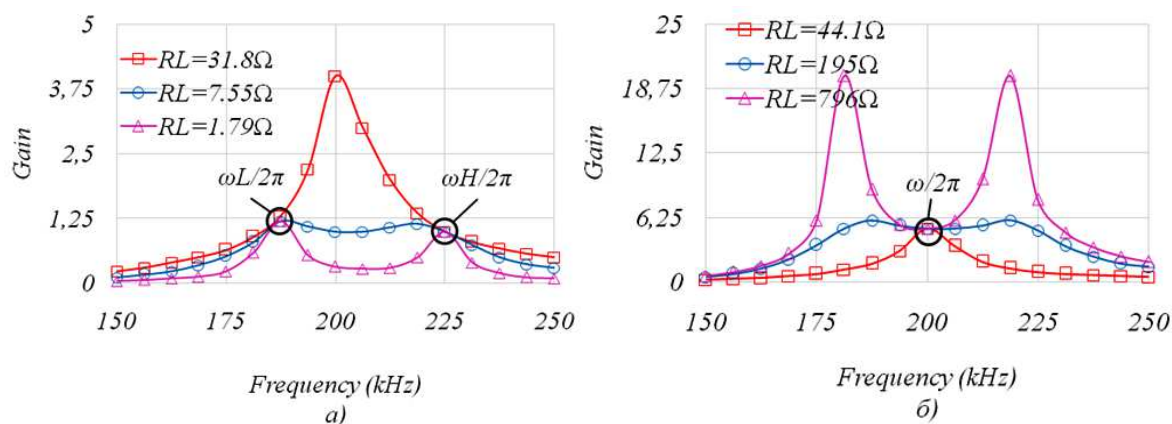


Рис. 3. Передавальна функція для:
а – SS топології; б – SP топології

Джерело: [6].

При паралельному компенсаційному конденсаторі на вторинній стороні є одна робоча частота для реалізації ПВН.

Відповідно до статті [17] продуктивність паралельної топології на вторинній стороні при значних опорах навантаження краща, ніж у послідовної. Коли роздільне значення опору навантаження R_L нижче, ніж імпеданс резонансного конденсатора на вторинній стороні Z_{Cs} , значно краща SS топологія, хоча й у досить вузькому діапазоні навантажень, характеристики на рис. 4 різко знижуються. Навпаки, при великих опорах навантаження, кращою є SP топологія через те, що паралельний імпеданс R_L та Z_{Cs} переважає імпеданс вторинного резонансного конденсатора Z_{Cs} . Імпеданс цього конденсатора приблизно рівний імпедансу опору навантаження R_L (формула (8)), де Z_{Cs} – імпеданс вторинного конденсатора, що складається з активного (R_c) та реактивного (X_c) опорів. Активним опором конденсатора можна знехтувати, оскільки його величина майже не впливає на результат.

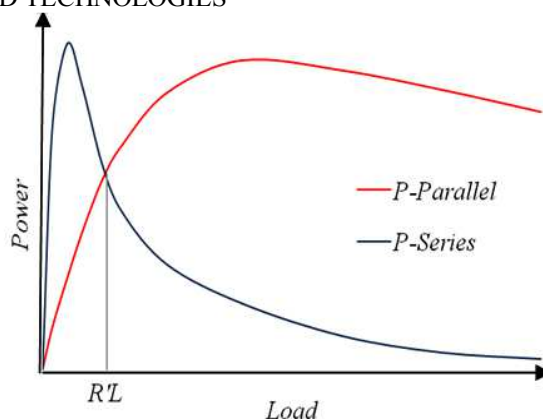


Рис. 4. Графік залежності вихідної потужності від навантаження для SS та SP топологій

Джерело: [17].

Отже, у SS топології перевагою є чудова навантажувальна характеристика, SP-топологія також має хорошу ефективність передачі при значній зміні діапазону навантаження [17].

Ще однією з переваг послідовної вторинної компенсації є те, що на резонансній частоті немає еквівалентної індуктивності $\text{Im}Z_{\text{г}}$ (формула (9)) [11]. При паралельній вторинній компенсації еквівалентна індуктивність присутня, але це можна налаштувати, оскільки це значення не залежить від навантаження (формула (10)). Зважаючи на формулу (9), для еквівалентного опору $\text{Re}Z_{\text{г}}$ струм на первинній стороні для послідовної компенсації збільшується до нескінченності, коли навантаження зводиться до нуля [5]. Аналогічний результат виникає при паралельній вторинній компенсації, оскільки навантаження збільшується до нескінченності. Це одна з основних відмінностей між вторинними послідовною та паралельною компенсаціями.

Формулами 11–13 описано критерії біфуркації для базових топологій. Зазвичай первинна (Q_p) та вторинна (Q_s) добротність більше одиниці. Найбільш проста умова в PS топології (формула (13)), тобто якщо первинна добротність більша за вторинну, то біфуркація не виникає.

Висновки і пропозиції. У цій роботі проведений аналіз основних базових топологій компенсації ППЕ. Визначено, що топології з послідовним розміщенням первинного компенсуючого конденсатора є найбільш ефективними при ППЕ для зарядних пристроїв серед чотирьох класичних схем. Встановлено, що:

1. На вибір компенсаційних конденсаторів із SS топологією не впливає коефіцієнт зв'язку та навантаження. Відповідно до цього система має нижчу чутливість до зміни позиції котушок, ніж SP компенсація.
2. Вихідний струм на резонансній частоті не залежить від зміни навантаження.
3. Рекомендоване застосування для систем із передачею більшої потужності (одиниці і десятки кіловат).
4. SP компенсація потребує вторинну індуктивність меншого розміру при тій же резонансній частоті. Це важливо для біомедичних та малопотужних транспортних засобів.
5. При SP компенсації система може ефективно працювати в більш широкому діапазоні навантажень.
6. PS та PP компенсації досить рідко використовуються через велике значення вхідного опору, складність розрахунків, залежність від коефіцієнта зв'язку й навантаження та інші недоліки; а для прийнятної ефективності вони потребують додаткову послідовну індуктивність.

Тому вибір топології для певного застосування зумовлений вихідною потужністю, частотою роботи, характером і діапазоном навантаження та сферою використання системи БПЕ. Подальші дослідження вченими топологій компенсації ППЕ можуть бути

спрямовані на поглиблення вивчення компенсацій та їх комбінацій при різних умовах роботи і параметрах, підвищення ефективності вибору пасивних компонентів компенсації для передачі оптимальної потужності.

Список використаних джерел

1. *Mohammad Hassan Ameri*. A New Maximum Inductive Power Transmission Capacity Tracking Method / Mohammad Hassan Ameri, Ali Yazdian Varjani, and Mustafa Mohamadian // *Journal of Power Electronics*. – November 2016. – Volume 16, Number 6. – Pp. 2202–2211.
2. *Wei Zhang*. Compensation Topologies of High-Power Wireless Power Transfer Systems / Wei Zhang, Chunting Chris Mi // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. – June 2016. – Volume 65, Issue 6. – Pp. 4768–4778.
3. *Шевченко В.* Огляд основних технологій бездротової зарядки накопичувачів енергії для малопотужних систем / В. Шевченко, Б. Пахалюк, О. Гусев // *Технічні науки та технології*. – 2017. – № 4 (10). – С. 133–146.
4. *Chan T. Rim*. Practical Design of Wireless Electric Vehicles: Dynamic & Stationary Charging Technologies. March 2017.
5. *Chwei-Sen Wang*. Power transfer capability and bifurcation phenomena of loosely coupled inductive power transfer systems / Chwei-Sen Wang, G. A. Covic and O. H. Stielau // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – Feb. 2004. – Vol. 51, no. 1. – Pp. 148–157.
6. *Analysis and comparison of secondary series- and parallel compensated inductive power transfer systems operating for optimal efficiency and load-independent voltage-transfer ratio* / W. Zhang, S.-C. Wong, C. K. Tse, and Q. Chen // *IEEE Trans. Power Electron.* – Jun. 2014. – Vol. 29, no. 6. – Pp. 2979–2990.
7. *Modeling and η - α -Pareto Optimization of Inductive Power Transfer Coils for Electric Vehicles* / R. Bosshard, J. W. Kolar, J. Mühlethaler, I. Stevanović, B. Wunsch and F. Canales // *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronic*. – March 2015. – Vol. 3, no. 1. – Pp. 50–64.
8. *Design and Control of a Single-Stage Large Air-gapped Transformer Isolated Battery Charger for Wide-Range Output Voltage for EV Applications* / Zaka Ullah Zahid, Cong Zheng, Rui Chen, William Eric Faraci, Jih-Sheng Jason Lai, Matthew Senesky, Dave Anderson // *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 15-19 Sept. 2013 IEEE, pp. 5481-5487.
9. *Bosshard R.* Inductive power transfer for electric vehicle charging: Technical challenges and tradeoffs / R. Bosshard, J.W. Kolar // *IEEE Power Electronics Magazine*. – Nov. 2016. – Vol. 3, no. 3. – Pp. 22-30.
10. *A New Integration Method for an Electric Vehicle Wireless Charging System Using LCC Compensation Topology: Analysis and Design* / Tianze Kan, Trong-Duy Nguyen, Jeff C. White, Rajesh K. Malhan, Chunting Chris Mi // *IEEE Transactions on power electronics*. – February 2017. – Vol. 32, no. 2. – Pp. 1638–1650.
11. *Chwei-Sen Wang*. Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger / Chwei-Sen Wang, O. H. Stielau and G. A. Covic // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – Oct. 2005. – Vol. 52, no. 5. – Pp. 1308–1314.
12. Xia, C., Zhou, Y., Zhang, J., & Li, C. (2012). Comparison of Power Transfer Characteristics between CPT and IPT System and Mutual Inductance Optimization for IPT System. *JCP*, 7, 2734-2741.
13. *Moradewicz A. J.* Contactless Energy Transfer System With FPGA-Controlled Resonant Converter / A. J. Moradewicz and M. P. Kazmierkowski // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – Sept. 2010. – Vol. 57, no. 9. – Pp. 3181–3190.
14. *Fu M.* Analysis and Optimized Design of Compensation Capacitors for A Megahertz WPT System Using Full-Bridge Rectifier / M. Fu, Z. Tang and C. Ma // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. – May 2018. – PP(99):1-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TII.2018.2833209>.
15. *Hong H.* The Analysis for Selecting Compensating Capacitances of Two-Coil Resonant Wireless Power Transfer System / H. Hong, D. Yang and S. Won // *2017 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI)*. – Beijing, 2017. – Pp. 220–225.
16. *Huang Z.* Design of a Single-Stage Inductive-Power-Transfer Converter for Efficient EV Battery Charging / Z. Huang, S. Wong and C. K. Tse // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. – July 2017. – Vol. 66, no. 7. – Pp. 5808–5821.
17. *Bailian Ni*. Design and Comparison of Parallel and Series Resonant Topology in Wireless Power Transfer / Bailian Ni, C. Y. Chung, H. L. Chan // *Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2013 8th IEEE Conference (19-21 June 2013), pp. 1832–1837.

References

1. Ameri, M. H., Varjani, A. Ya. and Mohamadian, M. (2016). A New Maximum Inductive Power Transmission Capacity Tracking Method. *Journal of Power Electronics*, 16, 6 [in English].
2. Zhang, W. & Mi, C. C. (2016). Compensation Topologies of High-Power Wireless Power Transfer Systems. Proceedings from: *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65, 6, (pp. 4768–4778) [in English].
3. Shevchenko, V., Pakhaliuk, B. & Husev, O. (2017). Ohliad osnovnykh tekhnolohii bezdrotovoi zariadky nakopychuvachiv enerhii dlia malopotuzhnykh system [Overview of the main technologies of wireless charging of energy storage devices for low-power systems]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 4 (10), 133–146 [in Ukrainian].
4. Rim, C. T. (2017). *Practical Design of Wireless Electric Vehicles: Dynamic & Stationary Charging Technologies* [in English].
5. Wang, C. S., Covic, G. A. & Stielau, O. H. (2004). Power transfer capability and bifurcation phenomena of loosely coupled inductive power transfer systems. *Proceeding from: IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 51, 1 [in English].
6. Zhang, W., Wong, S.-C., Tse, C. K. & Chen, Q. (2014). *Analysis and comparison of secondary series- and parallel compensated inductive power transfer systems operating for optimal efficiency and load-independent voltage-transfer ratio*. Proceedings from: *IEEE Trans. Power Electron.*, 29, 6, (pp. 2979–2990) [in English].
7. Bosshard, R., Kolar, J. W., Mühlethaler, J., Stevanović, I., Wunsch, B. & Canales, F. (2015). Modeling and η - α -Pareto Optimization of Inductive Power Transfer Coils for Electric Vehicles. Proceedings from: *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 3, 1 [in Ukrainian].
8. Zaka, U. Z, Cong Zheng, Rui Chen, William Eric Faraci, Jih-Sheng Jason Lai, Matthew Senesky, Dave Anderson. (2013). Design and Control of a Single-Stage Large Air-gapped Transformer Isolated Battery Charger for Wide-Range Output Voltage for EV Applications. Proceedings from: *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, (pp. 5481–5487) [in English].
9. R. Bosshard, J.W. Kolar, (2016). Inductive power transfer for electric vehicle charging: Technical challenges and tradeoffs. Proceedings from: *IEEE Power Electronics Magazine*, 3, 3, (pp. 22–30), Nov. 2016 [in English].
10. Kan, T., Nguyen, T.- D., White, J. C., Malhan, R. K. & Mi, C. C. (2017). A New Integration Method for an Electric Vehicle Wireless Charging System Using LCC Compensation Topology: Analysis and Design. Proceedings from: *IEEE Transactions on power electronics*, 32, 2, (pp. 1638–1650) [in English].
11. Chwei-Sen Wang, O. H. & Covic, G. A. (2005). Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger. Proceedings from: *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(5), (pp. 1308–1314) [in English].
12. Xia, C., Zhou, Y., Zhang, J. & Li, C. (2012). *Comparison of Power Transfer Characteristics between CPT and IPT System and Mutual Inductance Optimization for IPT System*. *JCP*, 7, 2734–2741.
13. Chan T.Rim. *Practical Design of Wireless Electric Vehicles: Dynamic & Stationary Charging Technologies* [in English].
13. Moradewicz, A. J. & Kazmierkowski, M. P. (2010). Contactless Energy Transfer System With FPGA-Controlled Resonant Converter. Proceedings from: *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57, 9 [in English].
14. Tang, M. Fu, Z. & Ma, C. “Analysis and Optimized Design of Compensation Capacitors for A Megahertz WPT System Using Full-Bridge Rectifier. Proceedings from: *IEEE Transactions on Industrial Informatics* [in English].
15. Hong, H., Yang, D. & Won, S. (2017). *The Analysis for Selecting Compensating Capacitances of Two-Coil Resonant Wireless Power Transfer System*. Proceedings from: *IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI)*, (pp. 220–225) [in English].
16. Huang, Z., Wong, S. & Tse, C. K. (2017). Design of a Single-Stage Inductive-Power-Transfer Converter for Efficient EV Battery Charging. Proceedings from: *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 7(66), (pp. 5808–5821) [in English].
17. Bailian, Ni, Chung, C. Y. & Chan, H. L. (2013). *Design and Comparison of Parallel and Series Resonant Topology in Wireless Power Transfer*”, *Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. Proceedings from 8th IEEE Conference (pp. 1832–1837) [in English].

UDC 621.3.08

Viktor Shevchenko, Bohdan Treiko,
Oleksandr Husev, Bohdan Pakhaliuk, Oleg Khomenko

OVERVIEW AND COMPARISON OF BASIC COMPENSATION TOPOLOGIES FOR WIRELESS POWER TRANSFER

Urgency of the research. Analyzing and comparing the popular basic classical topologies of compensating systems with inductive energy transfer (IPE) will allow researchers to select the required compensation topology when developing highly efficient inductive power transmission systems, in particular for wireless chargers, electric transport batteries and other devices.

Target setting. The interest in the use of wireless energy transmission (BPS) technologies is increasing, due to the safety and convenience of wireless home appliances, the ease of use of electrical appliances and electric transport.

Proceeding from the fact that any topology of compensation is based on the basis of the main four classical topologies, knowledge of their physical features and work will help to understand the interaction of more complex combinations of topology.

Actual scientific researches and issues analysis. Articles were reviewed on wireless power transmission topic, which describe the mathematical models of compensation topology. Most of the existing articles deal with various issues of implementing a particular topology, not reflecting the whole problem.

Uninvestigated parts of general matters defining. Information on each topology is generalized, highlighted their advantages and disadvantages, as well as examples of their use in specific cases.

The research objective. The main tasks are the analysis and comparison of the most common basic classical topologies of compensation systems with inductive energy transfer and recommendations for their selection and application.

The statement of basic materials. General information about four basic classical topologies of the scheme is considered. The requirements to compensation schemes that should be followed for the effective operation of the IPT scheme are also considered. The analysis and comparative characteristics of the basic compensation topologies for IPT are carried out. Advantages and disadvantages of each topology and area of their application were given.

Conclusions. The result of the research is to highlight the features of each base topology, their advantages and disadvantages. According to the research results can choose the desired topology depending on the tasks.

Keywords: wireless power transfer; inductive power transfer; compensation topology; resonance frequency; load-independent output currents and voltages.

Fig.: 4. Table: 1. References: 17.

Шевченко Віктор Олександрович – аспірант, асистент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Shevchenko Viktor – PhD student, assistant of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: shevaip1990@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6201-8693>

ResearcherID: R-3688-2018

Трейко Богдан Олександрович – студент, магістр кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Treiko Bohdan – student, master of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bohdan.treiko@gmail.com

Гусев Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Husev Oleksandr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: oleksandr.husev@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7810-457X>

ResearcherID: F-5792-2014

Scopus Author ID: 45861130600

Пахалюк Богдан Петрович – аспірант кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Pakhaliuk Bohdan – Phd student of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bohdan.pakhaliuk@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2303-5084>

ResearcherID: R-4645-2018

Хоменко Олег Борисович – інженер держбюджетної теми 89/17, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Oleg Khomenko – engineer of government project 89/17, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: olbor13@gmail.com

*Lubica Miková***DIDACTIC MODEL OF LIFT**

Urgency of the research. *Mechatronics products become more sophisticated and complicated. Mechatronic engineers should be prepared for this complex design process. Practical experimental model helps improve educational process as preparing for practice.*

Target setting. *Miniaturized model of the lift suitable for practical training on subjects focused to microcontrollers, sensors, actuators etc. Students have possibility to make practice on laboratory exercises, where they can verify theoretical knowledge obtained on lectures. The arrangement of the model has modular character, because of possibility to rearrange or adding of new function into model. The aim was to create minimized model of real lift with all functions and systems.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Many universities are oriented only to finished robotic kits and do not support creativity of students. Open access and open structure model missing in this field. There is a need for fast prototyping model, which allows the creation of new design of product.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *The question of the design of printed circuit board are uninvestigated, because they need more time than allows normal exercises.*

The research objective. *The main aim of educational process is to educate engineers with basic knowledge, skills and handicraft. Practical models help as support devices for fulfil of this aim. All mechatronic students can practice a training on these practical models. They become as more skilled and well-oriented engineers..*

The statement of basic materials. *Construction consist of upper and lower base plate connected with four pillars used as linear guide for moving of lift cage. Lower base plate includes base microcontrollers boards, resistor network, power transistor array board, power supply terminals, relay modules, PWM module and signals terminals. Upper base plate consist of DC motor with gearing and screw mechanism for moving the lift cage.*

Conclusions. *The model enables supports the creativity of the students. The starting point of the using of the model can be without any wired connections. Students should connect every part and try functionality of every function. The students receive the defined several problems and they have to analyze it and make any proposal for solution of defined problems.*

Keywords: *lift; controller; sensor; actuators; didactic.*

Fig.: 8. References: 17.

Introduction. Mechatronics as field is as synergistic combination of mechanics, electronics and also informatics. Beside these areas also other areas can be included in mechatronic product as hydraulics, pneumatics, optics etc. It means that mechatronic engineer should be expert in various scientific areas. The dominant role is to make sophisticated integration of all areas with aim to make the competitive product.

The main aim of educational process is to educate engineers with basic knowledge, skills and handicraft. Practical models help as support devices for fulfil of this aim. All mechatronic students can practice a training on these practical models. They become as more skilled and well-oriented engineers. This way also support the creativity of these students and improve the ability to solve also complicated engineering problems.

Paper describes the miniaturized model of the lift suitable for practical training on subjects focused to microcontrollers, sensors, actuators etc. The model has been created as result of master thesis.

Students have possibility to make practice on laboratory exercises, where they can verify theoretical knowledge obtained on lectures. The proposed didactic model supports educational concept with solving of problem situations. The concept uses the problem-explanation method, research-heuristic method.

Students received the practical experiences and extend their theoretical base. This approach also raises the motivation of these students, because they have realisation output of their work. The proposed problems can be solved as single student or as team of students. So they will experience with team working (fig. 1).

All problems in practical realisation cause many dilemmas, unsatisfying and new barriers. These factors are as impulse for motivation of students. They cannot solve these problems with actual knowledge, so they have to self-study and make new analysis, synthesis, experiments and new design. Students learn the mechatronic approach to design of products with higher added value. Their creativity and thinking rapidly raises up. Thus prepared graduated students are better prepared for industrial practice.



Fig. 1. Team working on didactic model

Concept of the model. The arrangement of the model has modular character, because of possibility to rearrange or adding of new function into model. The aim was to create minimized model of real lift with all functions and systems. Impact was also on safety as in real lift. First design has been made via using of virtual CAD model. The first idea was as two cabinet lift (twin concept) (fig. 2) with four floors.

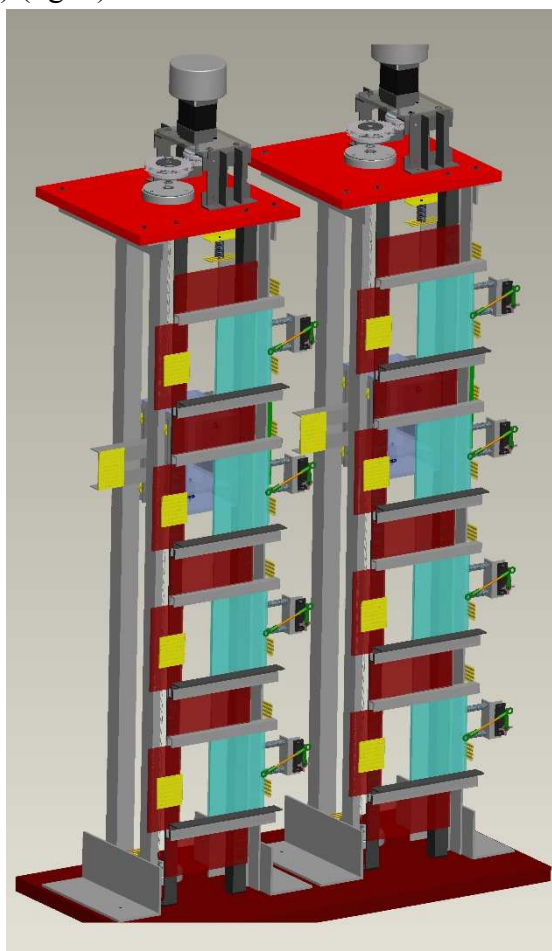


Fig. 2. CAD model of the lift

Functions of the model. The model has functions similar to real lift. The main aim is to make situation close to reality.

Detection of passengers inside the lift cage is needed for ensuring of higher priority of command inserted by passengers inside the lift cage (fig. 3). Also sensing of amount of pas-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

sengers is necessary for protection against the weight overcome of overall weights in lift cage. Lighting inside the lift cage is also automatically activated only if any passenger is inside the cage. Passenger is represented by plastic green kinder egg with defined weight.

Sensing of lift cage position is also realized in lift model via using of infrared sensors (fig. 3). The position of lift cage is signaled on every floor and also on operator panel of the cage placed on left outside of cage. User can put any request also during the motion of the lift cage.

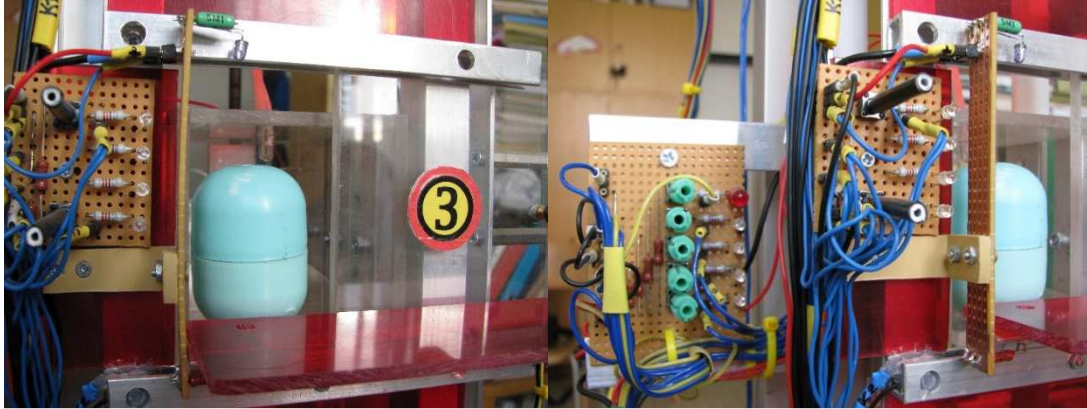


Fig. 3. Lift cage with passenger and operator panel

Sensing of cage position is also needed for controlling of cage moving. It continually accelerates on starting and it decelerates before target floor. Safety is very important and for this reason the passenger commands have higher priority than other commands. In case of emergency like fire or evacuation of building the control system should stop lift cage on closest floor.

Smooth closing and opening of the door is also safety function and it is related to sensing of door space realized via using of infrared optocouplers. If anybody in door place, then lift wait. The smooth opening and closing influences the overall life of lift. Opening and closing is realized through the servo and crank mechanism (fig. 4).

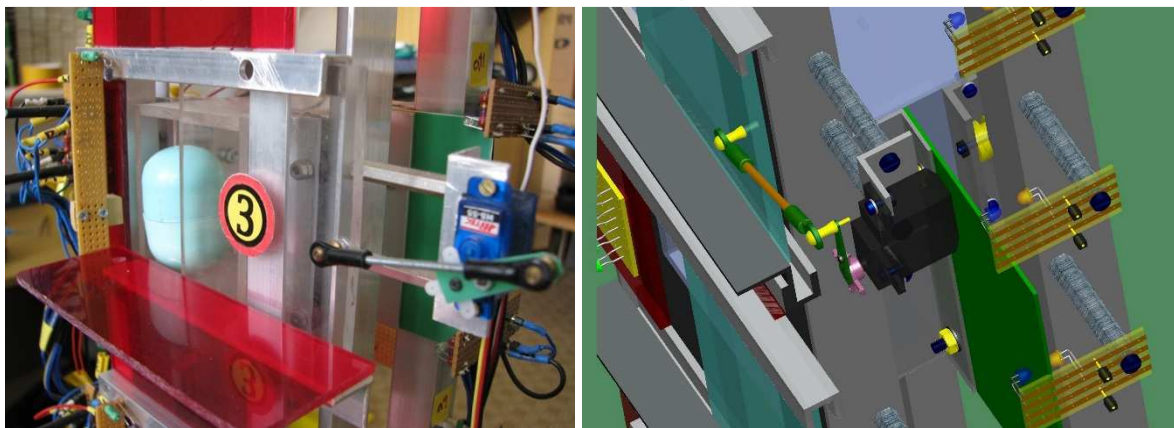


Fig. 4. Mechanism for opening and closing the door

Calling of the lift cage is possible on every floor through the buttons placed beside the door but still the commands received inside the cage have higher priority.

In case of any error the cage can crash into up or down limit barrier. For this purpose the limit end switches are installed and their function is independent on lift central control system. Also in case of wrong program it helps to prevent collision of cage at upper and lower limit.

Cage operator panel also includes the central stop button for emergency case and wrong program made by students.

Realization of the model. Model is 500mm high and weight is 1500g for easy manipulation. Construction consists of upper and lower base plate connected with four pillars used as linear guide for moving of lift cage (fig. 5).



Fig. 5. Linear guide for lift cage

Lower base plate includes base microcontrollers boards, resistor network, power transistor array board, power supply terminals, relay modules, PWM module and signals terminals (fig. 6).

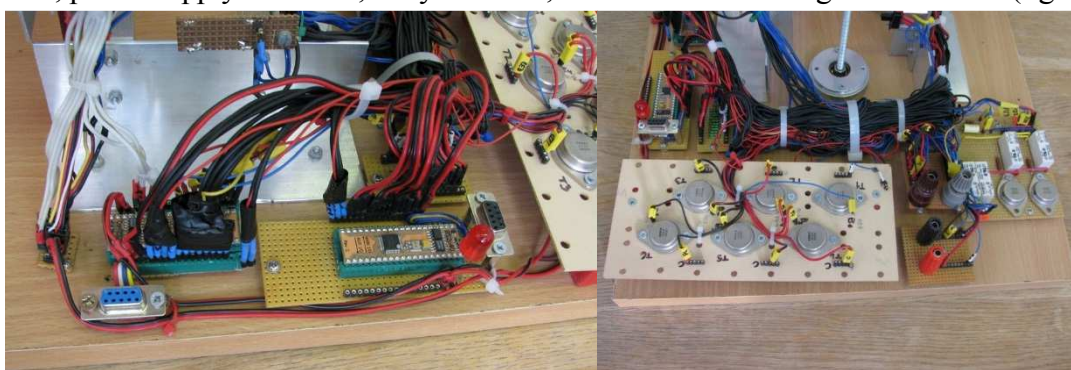


Fig. 6. Lower base plate

Upper base plate consist of DC motor with gearing and screw mechanism (motion screw and nut) for moving the lift cage. DC motor also includes optical encoder for measurement of velocity and angular position of rotor shaft. Screw mechanism transforms the rotation of DC motor to linear movement of lift cage (fig. 7).

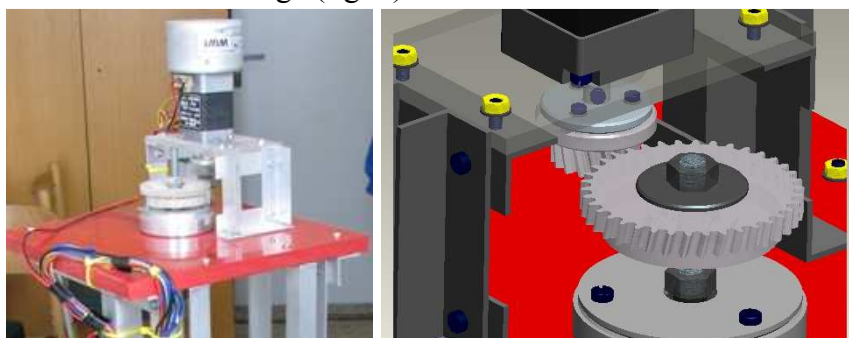


Fig. 7. Upper base plate

All electrical modules is connected with wired jumpers and it enables to rearrange electrical connections by students. Also they can add new modules. There are two microcontrollers as control system for all functions of the lift. The central power supply terminal needs only DC 12V power supply. It is selected because of safety of students during the experiments on this model. Overall model is compact device with easy manipulation. There are installed also safety shields and covers of moving parts as prevention of student's injuries. These covers are made from transparent materials for highly visibility of all components of the model. Electronic modules has short circuits protection and also reverse polarity of power supply. There are several master thesis has been done on this model and this model changes its appearance (fig. 8).

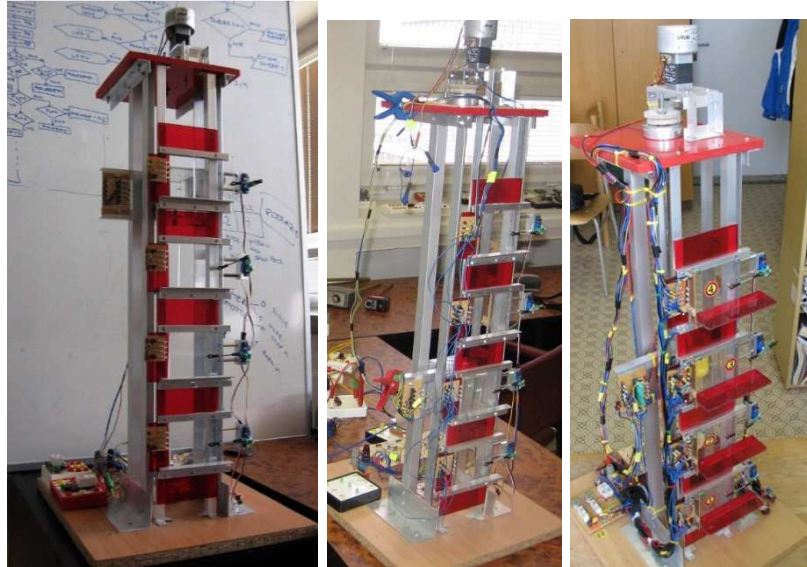


Fig. 8. Developing of the model – change of appearance

Conclusion. The model enables supports the creativity of the students. The starting point of the using of the model can be without any wired connections. Students should connect every part and try functionality of every function.

The students receive the defined several problems and they have to analyse it and make any proposal for solution of defined problems. Teacher only defines the problems and specifies the input restrictions. Then students have to study and make synthesis of knowledge for building the subsystems. This heuristic approach is perfect way for motivation of students. These students works in team and very often they use a brainstorming and other devices of team work [1-17].

Acknowledgement. The authors would like to thank to Slovak Grant Agency – project KEGA 018TUKE-4/2018, and FGV/2016 supported by Faculty of Mech. Eng. at Technical University of Kosice.

References

1. Flaxer, E., Besker I. & Fisherman, B. (2008). An alternative approach in mechatronics curricular development at AFEKA – Tel-Aviv Academic College of Engineering and at Tel-Aviv University”. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 36 (1), 266-282 [in English].
2. Castles, R. T., Zephirin, T., Lohani, V. K., & Kachroo, P. (2010). Design and Implementation of a Mechatronics Learning Module in a Large First-Semester Engineering Course. *IEEE Trans. on Education*, 53 (3), 445-454 [in English].
3. Ostojis, G., Stankovsci, S., Tarjan, L., Senk, I. & Jovanovic, V. (2010). Development and Implementation of Didactic Sets in Mechatronics and Industrial Engineering Courses. *Int. J. of Eng. Education*, 26 (1), 2-8 [in English].
4. Bradley, D. (2004). What is Mechatronics and Why Teach It?. *Int. J. of Electrical Eng. Education*, 41 (4), 275-291. doi.org/10.7227/IJEEE.41.4.2 [in English].
5. Lima, M., Gomes, M. P., Putnik, G., Silva, S. L., Monteiro, J., & Couto, C. (2002). “Mechatronics education at the University of Minho: A summary of the present; Perspectives for the future”. *Mechatronics*, 12 (2), pp. 295-302 [in English].
6. Vitko, A., JURISICA, L., BABINEC, A., DUCHOŇ, F. & KEÚČIK, M. (2010). *Some Didactic Problems of Teaching Robotics*. Proceedings of the 1st International Conference Robotics in Education. Location: Bratislava, Sept. 16-17, 2010, Bratislava, Slovak University of Technology in Bratislava, 27-30. ISBN 978-80-227-3353-3 [in English].
7. Koniar, D., Hargas, L., Simonova, A. (2014). *Virtual Instrumentation for Visual Inspection in Mechatronic Applications*. 6th Conference on Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems. Location: Vysoke Tatry, Slovakia, Nov. 25-27, 2014 [in English].
8. van Beek, T. J., Erdena, M. S., & Tomiyama, T. (2010). Modular design of mechatronic systems with function modelling. *Mechatronics*, 20 (8), 850-863. doi.org/10.1016/j.mechatronics.2010.02.002 [in English].

9. Wang, Y., Yua, Y., Xiea, Ch., Wanga, H., & Fang, X. (2009). Mechatronics education at CDHAW of Tongji University: Laboratory guidelines, framework, implementations and improvements. *Mechatronics*, 19 (8), 1346–1352. doi.org/10.1016/j.mechatronics.2007.11.001 [in English].
10. Kelemen, M., KELEMENOVÁ, T. & JEZNY, J. (2008). Four legged robot with feedback control of legs motion. *Bulletin of Applied Mechanics*, 4 (16), 115-118 [in English].
11. Virgala, I., Vackova, M., & Kelemen, M. (2010). Two-legs walking robot "Wirgil". *Medical and treatment*, 40 (2), 32-35 [in English].
12. Miková, L., Kelemen, M., & Kelemenová, T. (2008). Four wheeled inspection robot with differential controlling of wheels. *Acta Mechanica Slovaca*, 12 (3-B), 548-558 [in English].
13. Duchoň, F., Hubinský, P., Hanzel, J., Babinec, A., & Tölgyessy, M. (2012). Intelligent Vehicles as the Robotic Applications. *Procedia Engineering*, 48 (2012), 105–114. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.492 [in English].
14. Koniar, D., Hargaš, L., & Štofán, S. (2012). Segmentation of Motion Regions for Biomechanical Systems. *Procedia Engineering*, 48 (2012). 304–311. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.518 [in English].
15. Turygin, Y., & Božek, P. (2013). Mechatronic systems maintenance and repair management system. *Transfer of innovations*, 26, 3-5 [in English].
16. Spanikova, G., Spanik, P., Frivaldsky, M. (2017). Electric model of liver tissue for investigation of electrosurgical impacts. *Electrical Engineering*, 99 (4). 1185-1194. doi.org/10.1007/s00202-017-0625-0 [in English].
17. Karavaev, Y. L., & Kilin, A. A. (2016). *Nonholonomic dynamics and control of a spherical robot with an internal omniwheel platform: Theory and experiments*. Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics, 295 (1), 1 November 2016, 158-167 [in English].

УДК 004.4

Любіца Мікова

ДИДАКТИЧНА МОДЕЛЬ ЛІФТА

Актуальність теми дослідження. Мехатронні виробы стають все більш складними. Інженери мехатроніки повинні бути готові до складності процесу проектування. Практична експериментальна модель допомагає поліпшити навчальний процес при підготовці до практичної діяльності.

Постановка проблеми. Мініатюрна модель ліфта, підходяща для практичного вивчення предметів, орієнтована на мікроконтролери, датчики, приводи і т. ін. У студентів є можливість практикувати лабораторні заняття, де вони можуть перевіряти теоретичні знання, отримані на лекціях. Будова моделі має модульний характер, що дає можливість перегрупування або додавання нової функції в модель. Мета полягала в створенні мініатюрної моделі реального ліфта з усіма функціями і системами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато університетів орієнтовані тільки на готові роботизовані комплекти і не підтримують творчість студентів. У цьому полі відсутня модель відкритого доступу і відкритої структури. Існує необхідність в швидкій моделі прототипування, яка дозволяє створювати новий дизайн продукту.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Питання про дизайн друкованої плати не досліджено, тому що йому потрібно більше часу, ніж дозволяють звичайні дії.

Постановка завдання. Основною метою навчального процесу є навчання інженерів базових знань, навичок і умінь. Практичні моделі допомагають в якості допоміжних пристроїв для досягнення цієї мети. Всі студенти-мехатроніки можуть практикуватися на цих практичних моделях. Вони стають більш кваліфікованими і добре орієнтованими інженерами.

Викладення основного матеріалу. Конструкція складається з верхньої і нижньої опорної плити, пов'язаної з чотирма колонами, які використовуються в якості лінійної напрямної для переміщення підйомної клітки. Нижня опорна плита включає в себе базові плати мікроконтролерів, резисторну мережу, плату з масивом силових транзисторів, клеми джерела живлення, модулі реле, модуль PWM і термінали сигналів. Верхня опорна плита складається з двигуна постійного струму з зубчастим зачепленням і гвинтового механізму для переміщення підйомної клітки.

Висновки. Модель дозволяє підтримувати творчий потенціал студентів. З'єднання з точкою управління моделлю може бути безпровідним. Студенти повинні підключити кожну частину і спробувати можливості кожної функції. Студенти отримують певні завдання, їм доводиться аналізувати їх і робити будь-які пропозиції для вирішення певних проблем.

Ключові слова: ліфт, контролер, датчик, приводи, дидактика.

Рис.: 8. Бібл.: 17.

Miková Lubica – 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

Marek Vagaš

**SUMMARY OF CHOSEN LEGISLATION USED
IN AUTOMATED OPERATION**

Urgency of the research. In the field of automation currently exists a lot of standards and directives deals with this area, and frequent mistakes and errors occur during implementation of automated workplaces (especially with robotic arm).

Target setting. Purpose of article is to give an overview and brief summary of chosen legislation that is most used during of implementation of such systems.

Actual scientific researches and issues analysis. Several books and articles were published during past of years, but a lot of them contain general and complex information, only few of them were focused on limited area, such automated workplaces.

Uninvestigated parts of general matters defining. Despite to lot of information from this area, still is missed clear idea for automated workplace implementation.

The research objective. The point of article is showing the most important legislative for automated workplace designing with safety requirements.

The statement of basic materials. For success realization of automated solution (obviously with robotic arm) is needed evaluation and assessment of risk that can occur there, with regards to the persons around workplace.

Conclusions. The results published in this article increase the correct installation of such automated workplaces, together with industrial robots. In addition, presented legislative helps persons for better understanding of material flow creation in these types of workplaces, where major role is realized via industrial robot. Our proposed solution can be considered as relevant base for introducing such workplaces into the “INDUSTRY 4.0” concept.

Keywords: directives and standards; risk assessment; safety guards.

Fig.: 4. References: 9.

Introduction. The legislation that have impact to the automated operation lead producers to the ambition for creation of new impulses with aim of effectively of manufacturing, assembly or welding processes. New information is still coming with added values from SMEs practical testing in Slovakia and also from abroad. These companies depends on being to more competitive at labour market, increases their production capacities, productivity and push impact to the effectiveness. Without automation, robotics and digitalisation are impossible in present, and mainly in future to be competitive with qualified employees. Actual trends point out to the missing knowledge of many workers, how correctly implemented legislative important. It is still more difficult and many SMEs pay for it through outsourcing from external companies that deal especially with this issue [1]. Another aspect lay in problem with manual work. Manual work is on declining; in companies grow up automation systems on each level. Operators with sufficient qualification for operation, maintenance of such systems are deficiency. The correct way how to solve these problems could be in education and implementation of innovative technologies to the companies. Workers must be interested in and including into these new areas [2]. Several researches are focused on trends, implementation of automated workplaces (including robotic arms) for whole purposes.

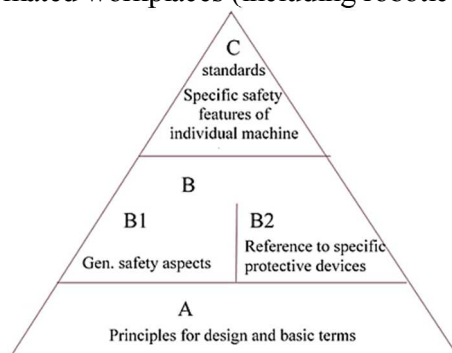


Fig. 1. Safety legislation during operation at automated workplace with industrial robot

The safety legislation focused on basic determination of security requirements has followed structure, Fig. 1.

– A-standards: It provides determination of basic issues for projecting and designing of such automated workplaces that could be applicable for all machines. This includes standards EN ISO 14121, EN ISO 121002, IEC 61508.

– B-standards: Focused on one special chosen safety factor or type of security equipment that can be used during automated workplaces implementation. Deals with safety requirements or equipment, which can be used for which machine, industrial robot and so on. It is divided into B1 – individual safety aspects (safety distances, temperature, noise, requirements to control system etc...) and B2 – deals with two handled control or contactless protection devices. It includes standards like: EN ISO 13849, EN 62061, EN 60204-1, IEC 61496-1, EN 349 or EN 1088.

– C-standards: Deals with special safety machine norms. It determines safety requirements for individual machine, robot or equipment. Also includes requirements for specialized machines. Obviously it is focused on special conditions (radioactive, dust, clean etc...) and on atypical solutions of machines. This includes EN 692 or EN ISO 10218 (for industrial robots).

Risk assessment, EN ISO 12 100. Risk assessment is considered as systematically approach that leads to verification, if exists some kind of danger directly at automated workplace. In the same time, safety actions are considered, if they are sufficient for people protection, Fig. 2. It also serves as standard base to increasing of quality and effective actions [3]. Currently, several types of methods for risk assessment is available for automated workplaces, most often is point method. This method has several modifications regarding to the evaluated person. Each of them can create his own methodology for risk assessment depending on the specific issues at automated workplace and activities on it [4].

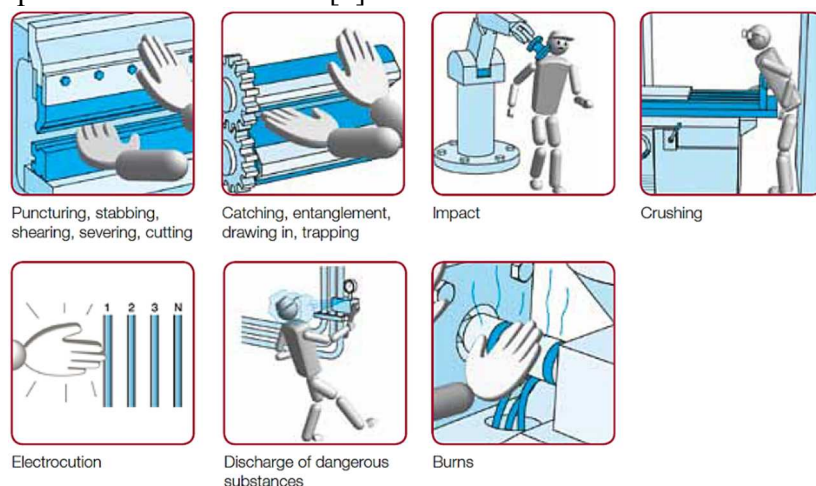


Fig. 2. Example of possible risk at automated workplace

Basically, we could say a statement that process for risk has a same form – including following steps:

– Selection of assessed area at automated workplace,

Assessed part could be a machine, industrial robot, belt conveyor or another part of automated workplace equipment. Accurate determination of assessed part show us, where could be a potential of danger.

– Hazard identification,

After selection of assessed part is necessary property identification and aspects that could be potential source for creation of danger, health problems or diseases as negative state.

– Danger identification,

If hazard were determined, next step consist of setting how injury can be realized via this chosen part, as product of negative state. So, we must determine the way and direction of negative effect to the persons, environment, values etc. From one potential danger could be divided more dangers.

– Requirements fulfilment of actual legislation,

In praxes, directly these issues are not filled and law respecting could significantly influence for risk parameters. In this step is necessary to compare if chosen part of automated workplace,

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

work envelope, technology fulfil requirements regarding to the laws, technical documentation, provider guides, etc.

- Risk assessment (calculation),

From definition of risk, we can consider that probability for creation of potential dangerous situation is depended at importance of consequences of potential negative situation. We can state that risk is a function two basic parameters: probability (p) and consequence (c).

- Assessment of safety at automated workplace,

During assessment of safety is necessary to make expertize, it means, how is the probability for danger creation. This process consists of injuries probability if exists any potential, from statistical numbers of reliability and from qualify estimation of specialist

- Actions lead to risk decreasing or removing.

Accident consequences are mean as level or importance of potential, damage. During this process we start from importance of damage – dead, heavy, another type, illness from working. The second aspect consists of damage range – only one person, more persons, and equipment damages.

Risk minimisation, EN ISO 13 849-1.

Risk minimisation is obviously considered as complex, hard and difficult procedure, Fig. 3. This is a very often reason of SME companies that have an influence on its insufficient realisation at automated workplaces (including robotic arms). Risk minimisation must be regularly considered e.g. by standard employee with normal thinking mind. In case employee is realized this procedure, it is better because of his knowledge of specific automated workplace, where he spent eight hours per day. It is better than another person via outsourcing companies [5]. For securely identification of hazards caused at automated workplace can be used also a universal control list for danger situations. It is necessary to start directly at reality from automated workplace, individual working areas and machine, industrial robot or another equipment work flow. Person can consider if individual hazard potentially at high or low degree of dangerous situations is.

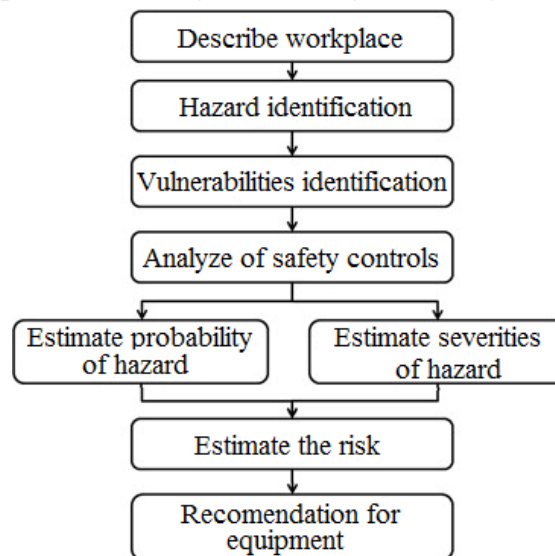


Fig. 3. Risk minimisation

After risk minimisation can be agreed several recommendations:

- Do not leave any automated workplace without supervision,
- Do not leave any automated workplace equipment turned on, if there is possibility of human approaching (except operators and instructed persons),
- Do not move under the robotic arm with end effector,
- Do not overtake any moving equipment at automated workplace,
- Do not help to robotic arm with its payload,
- Ways for moving equipment must be clear, soft an straight due to loose of stability or work piece falling from it,

- Regularly controlling of each equipment at automate workplace with documentation,
- Overloading of any equipment at automated workplace,
- Manipulation with any equipment at automated workplace must be realized only by instructed persons.

Risk minimisation can be evaluated through this method that consists of individual activities at automated workplace (including industrial robots). These points are taken into account from activities generally realized at these types of workplaces. Each activity is considered by its most important parameters (speed, acceleration etc...) and then is possible to identify hazards from them [6]. After that is evaluate probability of its creation and also possible reasons, if they will be created as negative event. Later, we can determine the value of risk, activities for its decreasing or removing.

Safety guard switches, EN ISO 14 119.

The purpose of safety guard switches are prohibiting to machine, robot etc. between uncontrolled start in case of potential risk exists for operators (opened machine part, paused robotic arm etc.). Switches serve for reliable detection of machine, robot or another equipment status together with movement detection some of its parts [7]. It is not depended on sensing of position, end positions of machine, robot or equipment specific part, not even based on security zones. For implementation to the automated workplace with robotic arm are contactless positioning switches good choices in difficult conditions, Fig. 4. Their advantage consists of:

- Modularity for deployment into the various workplace types, big flexibility and low expenditures,
- Several combinations due to many physical principles with end parts,
- Variants for extreme environment implementation, corrosive protection,
- Quick diagnostic based on LED diodes,

Programming of these switches contains complete and modular units that can be assembled into specific variants based on application. One million connecting and disconnecting operations are guaranteed together with 1500 possible configurations [8].



Fig. 4. Safety guards at automated workplace

Blocking barriers - serves as protective security equipment to protect persons (at one hand) and also machines or equipment (due to its expensiveness i.e.) at automated solutions. Various types of barriers are used or its specific arrangement at such workplaces for accessing close into the equipment (like robots, conveyors etc.) working envelope resp. workspace. These protective sources are designed in such way that protects people and their human parts before reaching of potential dangerous area. Any contact between them and machine, robot etc. prohibited, especially during its automatic mode. Blocking barriers serves for separation of machines, manipulating AGVs or robotized areas from the operators and other persons [9]. In addition, it can create a safety zones around areas which are potentially dangerous for people.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Requirements for blocking barriers:

Whole automated workplace (including robotic arm) must be stopped, directly after barrier opening. The starting of automated workplace is allowing after barrier closing and confirmation from operator, regarding to the required procedure. Based on blocking barriers types, we can recognize:

– Blocking barriers that are connected directly with security separation equipment without fusing. They allow to each equipment cannot be at working, while blocking barrier is opened. After closing of barrier, equipment must be set into the manual mode (required also for robotic arm) and allowed by operator.

– Blocking barriers that are connected directly with security separation equipment with fusing. They allow to each equipment cannot be at working, also after blocking barrier closing. Equipment is locked until risk is at the workplace (person near the robotic arm i.e.). It is possible via special mechanical switches that are used for sensing of protecting shields position inside the workplace and also at specific machines. Switch can be turned by positive or negative signal, if is used only one switch, positive signal is preferred.

Conclusions. Risk is practically everywhere and during whole our life, often it uncover our health quality and productivity in SME companies. Each year there are many employees that are injured during their work flow, lot of them lead to work inability, stress factors or overloading for human psychics or another human diseases based on long time working. These type of accidents and diseases are not difficult only for SME companies owners, but also for employee's family and state health system and have a big influence to the productivity of companies.

Various types of risk are also created during "INDUSTRY 4.0" implementation, where automation is (in few steps) decreasing availability for lower workers qualification skills. Assessment of risk is still needed and is base for successfully control of safety requirements and health protection that is the key for decreasing of person's illness and occupational injuries. In case of its correct assessment can be considered as a good source for safety and good health at automated workplaces, and also – in general, is necessary to avoid of all possible risk at workplaces.

Acknowledgements. This work has been supported by the Slovak Grant Agency KEGA 054TUKE-4/2016 "Innovation of teaching courses with a focus on automation in response to the demands of industry and services".

The paper presents results of researches supported by EU within the project SPOSH „Strategic Partnership for Occupational Safety and Health”, 2015-1-PL01-KA202-016625, under the ERASMUS+ Programme. This publication represents only author's opinion and neither the European Commission nor the National Agency is not responsible for any of the information contained in it.

References

1. Semjon, J., Vagaš, M. & Baláž, V. (2012). The process projecting automated and robotized system based on CA methods and modularity. *International Scientific Herald*, 2(3), 156-160. ISSN 2218-5348 [in English].
2. Sinay, Ju. (1999). *Risk assessment and safety management in industry*. The Occupational Ergonomics Handbook. CRC Press LCC- ISBN 0849326419 [in English].
3. Necessary steps for risk assessment. (n.d.). www.schneider-electric.com. Retrieved from https://www.schneider-electric.com/en/download/document/eBook_4_Steps/ [in English].
4. Identification of hazard. (n.d.). www.osha.gov. Retrieved from <https://www.osha.gov/shpguidelines/hazard-Identification>. [in English].
5. Vagaš, M. (2014). *Design of robotized workplace*. Transfer inovácií, 29, 199-201. ISSN 1337-7094 [in English].
6. Novak, T. and Treytl, A (2008). *Functional safety and system security in automation systems - a life cycle model*. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Hamburg [in English].
7. Inaba, Y., Sakakibara, S. (2009). *Industrial intelligent robots in Springer handbook of automation*, Part C, 349-363, ISBN 978-3-540-78831-7 [in English].

8. *How to avoid risk in process automation.* (n.d.). *sloanreview.mit.edu*. Retrieved from <https://sloanreview.mit.edu/article/five-robotic-process-automation-risks-to-avoid/> [in English].

9. Overview of safety functions. (n.d.). *automationproductsandsystems.com*. Retrieved from <https://automationproductsandsystems.com/overview-of-safety-functions/> [in English].

УДК 004.896:331.103.255

Марек Вагаш

ОГЛЯД ВИБІРКОВОГО ЗАКОНОДАВСТВА, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЙ

Актуальність теми дослідження. У сфері автоматизації нині існує безліч стандартів і директив, однак виникають часті помилки і збої під час впровадження автоматизованих робочих місць (особливо у роботизованого маніпулятора).

Постановка проблеми. Мета статті – огляд і короткий виклад окремих законів, які найбільш часто використовуються при впровадженні автоматизованих систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки було опубліковано кілька книг і статей, але більшість з них містять загальну і складну інформацію, і лише деякі орієнтовані на вузьку область, а саме – автоматизовані робочі місця.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на велику кількість інформації в цій галузі, відсутній чіткий план впровадження автоматизації на робочому місці.

Постановка завдання. У статті наведено найбільш важливий принцип проектування автоматизованих робочих місць відповідно до вимог безпеки.

Виклад основного матеріалу. Для успіху реалізації принципу автоматизації (за допомогою роботизованого маніпулятора) необхідна оцінка та виявлення ризику, який може статися з особами, які працюють на робочому місці.

Висновки відповідно до статті. Результати, опубліковані в цій статті, забезпечують більш правильну установаку таких автоматизованих робочих місць разом із промисловими роботами. Крім того, представлені принципи допомагають людям краще зрозуміти процес виробництва на таких типах робочих місць, де важливу роль відіграє промисловий робот. Запропоноване рішення можна розглядати, як актуальну базу для впровадження робочих місць у концепцію «INDUSTRY 4.0».

Ключові слова: директиви та стандарти; оцінка ризику; захисні пристрої.

Рис.: 4. Бібл.: 9.

Vagas Marek – Doctor of Technical Sciences, assistant lecturer, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of automation, control and human machine interactions (9 Letna Str., 041 00 Kosice, Slovakia).

E-mail: marek.vagas@tuke.sk

Scopus Author ID: 55014596100

РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 664.87

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-231-239

Ольга Сиза, Анна Кичка, Тетяна Гусол, Олеся Савченко

ЕКСТРАКТ ІЗ КОРИННЯ КУЛЬБАБИ ЛІКАРСЬКОЇ ЯК ПЕРСПЕКТИВНА СИРОВИНА У ВИРОБНИЦТВІ ХАРЧОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ

Актуальність теми дослідження. Одним із діючих шляхів підвищення рівня здоров'я населення є створення продуктів харчування з додаванням рослинної сировини, що є невичерпним джерелом натуральних біологічно активних речовин, які збагачують організм людини вітамінами, мінеральними речовинами, антиоксидантами, органічними кислотами.

Постановка проблеми. Перспективним напрямом розширення асортименту продуктів із підвищеною харчовою цінністю є використання як сировини кореня кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale* Wigg). Біологічно активними речовинами кульбаби лікарської є інулін та флавоноїди. Інулін знижує ризик виникнення серцево-судинних захворювань, зміцнює імунну систему організму, має імуномодулюючу та гепатопротекторну дію, дозволяє знизити рівень цукру в діабетиків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових публікаціях показано, що рослинні екстракти є найбільш перспективною сировиною для створення продуктів, збалансованих за вмістом біологічно активних речовин, оскільки рослинні екстракти поєднують натуральність, функціональність та містять есенціальні речовини в концентрованій кількості.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Обмежена інформація щодо використання порошків та екстракту з кореня кульбаби лікарської у складі харчоконцентратів як заміників кави.

Постановка завдання. Визначення оптимальних режимів отримання екстрактів із коріння кульбаби лікарської в сухій формі та обґрунтування доцільності використання їх як заміників кави у виробництві харчоконцентратів.

Виклад основного матеріалу. З'ясовано, що за вмістом виходу сухих речовин (41,5-43,4 %) при отриманні екстракту з порошку коріння кульбаби доцільним є використання у якості екстрагенту питної води (гідромодуль^{1/12}) як найбільш дешевого розчинника. Визначено, що, в залежності від умов виробництва, екстракцію можна проводити в інтервалі температур 60-90 °C впродовж 2-4 годин. Досліджено: вміст важких металів у сировині та вміст макро- і мікроелементів в екстракті з коріння кульбаби атомно-абсорбційним методом; компонентний склад летких речовин екстракту – методом хромато-мас-спектрометрії; вміст інуліну – за методом Бертрана.

Висновки відповідно до статті. Літературні дані та отримані результати досліджень зумовлюють доцільність використання порошку та сухого екстракту з коріння кульбаби у виробництві харчоконцентратів, оскільки ця рослинна сировина збагачує продукти харчування вітамінами, мінералами, інуліном та флавоноїдами і є безпечною для споживання з точки зору токсичності. Агрегатний стан екстракту, тривалий термін зберігання, приємний аромат і смак, розчинність як у холодній, так і гарячій воді, простий метод отримання – доводять перспективність використання цієї сировини для виробництва сумішей розчинних кавових напоїв, у складі морозива та кондитерських виробів, а також як заміника кави для людей, хворих на цукровий діабет.

Ключові слова: коріння кульбаби (*Taraxacum officinale* Wigg); екстрагування; екстракт; біологічно активні речовини. Табл.: 3. Рис.: 3. Бібл.: 20.

Актуальність теми дослідження. Одним із діючих шляхів підвищення рівня здоров'я населення слід вважати створення продуктів харчування із додаванням рослинної сировини, що є невичерпним джерелом натуральних біологічно активних речовин. Вони збагачують організм людини такими мікронутрієнтами як вітаміни, мінеральні речовини, антиоксиданти, органічні кислоти та інші біологічно активні сполуки, нестача яких призводить до порушення імунітету, зниження опору до інфекцій та підвищення ризику виникнення захворювань. На жаль, на сьогодні в Україні спостерігається дефіцит таких добавок [1–3].

Постановка проблеми. Перспективним напрямом розширення асортименту продуктів з підвищеною харчовою цінністю є використання в якості сировини коріння кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale* Wigg) [4-6]. Біологічно активними речовинами кульбаби лікарської є інулін та флавоноїди. У корінні цієї рослини міститься до 40 % інуліну, а в квітках – до 0,7 % флавоноїдів. Інулін радикальним чином впливає на обмін речовин, покращує обмін ліпідів – холестерину, тригліцеридів і фосфоліпідів у крові. Знижує ризик виникнення серцево-судинних захворювань, пом'якшує їхні наслідки, зміцнює імунну систему організму. Крім того, інулін має імуномодулюючу та гепатопротекторну дію, протидіє виникненню онкологічних захворювань. Прийом препаратів, що містять інулін, дозволяє знизити рівень цукру в діабетиків. Флавоноїди мають протизапальні, антиалергенні, антивірусні й антиканцерогенні властивості. Крім того, флавоноїди виконують роль сильних антиоксидантів, забезпечуючи захист від окислення і пошкодження вільними радикалами. Їх також застосовують при лікуванні цукрового діабету [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відповідно до ряду публікацій [7-11], рослинні екстракти є найбільш перспективною сировиною для створення продуктів, збалансованих за вмістом біологічно активних речовин, оскільки ці екстракти поєднують в собі натуральність, функціональність та містять есенціальні речовини в концентрованій кількості. Наявність пігментів дозволяє повністю уникати використання синтетичних барвників та ароматизаторів, а наявність фенольних сполук дає змогу створювати неповторний смак продуктів, покращувати їхню якість, зовнішній вигляд, харчову цінність. Крім того, екстракти сприяють подовженню терміну зберігання продуктів за рахунок наявності великої кількості природних консервантів та антиоксидантів.

У статті [1] для отримання екстракту обґрунтовано вибір чаю як джерела біологічно активних речовин. Встановлено оптимальні умови виробництва чайного екстракту з високим вмістом екстрактивних речовин, у тому числі мікроелементів. Досліджено [12] склад та властивості полісолодових екстрактів як «основи» для безалкогольного напою, підібрано оптимальні співвідношення полісолодового екстракту, водного екстракту малини і необхідної кількості глюкозно-фруктозного сиропу для одержання збалансованого за компонентним складом напою з гармонійним смаком. Авторами [5-8] проаналізовано біологічно активні речовини кульбаби лікарської, визначено вплив технологічних факторів та фази вегетації на оптимальний вихід цих речовин, їхні основні характеристики та вплив на організм людини.

На сьогодні рослинні екстракти найчастіше використовують у виробництві готових до споживання напоїв і сухих сумішей для розчинних напоїв (кава і її замінники, холодний чай, фруктовий чай, безалкогольні напої, функціональні напої, ароматизовані мінеральні води, дитячі чаї); жувальних гумок і кондитерських виробів (льодяники, шоколадні вироби тощо); молочних продуктів (йогурти, десерти, морозиво та ін.); продуктів харчування для дітей [13-17].

Відомо, що кава – один із найпопулярніших тонізуючих напоїв, але наявність у ній кофеїну створює обмеження для певної групи споживачів. Замінники кави натуральної дозволяють не тільки використати більш дешеву сировину, але й розширити асортимент та поліпшити властивості кавових напоїв для різних груп споживачів. З літературного огляду можна зробити висновок, що використання рослинної сировини, багаті на біологічно активні речовини, є перспективним джерелом підвищення харчової цінності продуктів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Обмежена інформація щодо використання порошку та екстракту з кореня кульбаби лікарської у складі харчоконцентратів як замінників кави.

Мета роботи. Визначення оптимальних режимів отримання екстрактів із коріння кульбаби лікарської у сухій формі та обґрунтування доцільності використання їх як замінників кави у виробництві харчоконцентратів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Коріння кульбаби лікарської ретельно мили, сушили, обсмажували, перемелювали в порошок розміром 1-3 мм та досліджували його показники (табл. 1).

Таблиця 1

Властивості порошку з коріння кульбаби

Показник	Результат
Зовнішній вигляд	Дрібнодисперсний порошок
Колір	Світло-коричневий
Смак і запах	Властивий цьому продукту без сторонніх присмаків та запахів
Масова частка вологи, %	7,8
Вміст вітаміну С, %	0,3
Зольність, %	5,88

Вміст токсичних елементів у порошок кульбаби визначали за методикою згідно з ГОСТ 30178-96. Мінералізацію проб проводили за ГОСТ 26929-94. Визначення вмісту

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Плюмбуму, Кадмію, Купруму і Цинку проводили в золі вихідної сировини атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі Semy C-115 M 1 (Україна); Меркурія – методом холодної пари за допомогою спектрофотометра ГРГ-107 Кортек; Арсену – за допомогою атомноабсорбційного спектрофотометра з термічною атомізацією Varian Spectr AA 240 Z (Австралія) за методикою [18]. Результати представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Вміст важких металів у сировині

Назва елемента	ГДК, мг/кг	Вміст важких металів, мг/кг
		Корінь кульбаби обсмажений
Цинк	50,0	0,2465
Кадмій	0,05	0,0452
Купрум	25,0	0,2449
Меркурій	0,02	0,0018
Плюмбум	1,0	0,2469
Арсен	1,0	0,0027

Аналіз отриманих даних свідчить, що вміст важких металів у рослинній сировині перебувають у допустимих межах – досліджуваний порошок із кореня кульбаби є безпечним для вживання в їжу.

Нами запропоновано рецептури та технологію виробництва напоїв на основі кави та цикорію з різним вмістом порошку з коріння кульбаби. Визначено, що суміш порошків у співвідношенні сировини: коріння кульбаби – 50-60 %, коріння цикорію – 30 %, зерна кави – 10-20 % – є оптимальною, оскільки має найкращі смакові якості напоїв і найбільший вміст екстрактивних речовин.

Для отримання розчинних замінників кави і використання їх у виробництві сумішей харчових концентратів проводили екстрагування порошку з коріння кульбаби. Екстракцію здійснювали методом мацерації, який базується на настоюванні рослинної сировини в розчиннику протягом тривалого часу. Отриманий екстракт фільтрували і висушували до постійної маси.

Процес екстрагування відноситься до масообмінних. Більшість видів масопередач відбуваються внаслідок процесів дифузії. Відомо, що проходження процесу екстрагування залежить від природи розчинника, температури, тривалості екстрагування та гідромодуля. Якість екстракції оцінювали за виходом екстрагованих речовин після їх висушування та їхнім складом.

Досліджували розчинники, які найбільше використовуються у харчових технологіях – вода питна (рН – 7,2; мінералізація – 372,4 мг/л; загальна жорсткість – 4,7 мг-екв/л; Ферум загальний – 0,4 мг/л) та спирт етиловий (рис. 1).

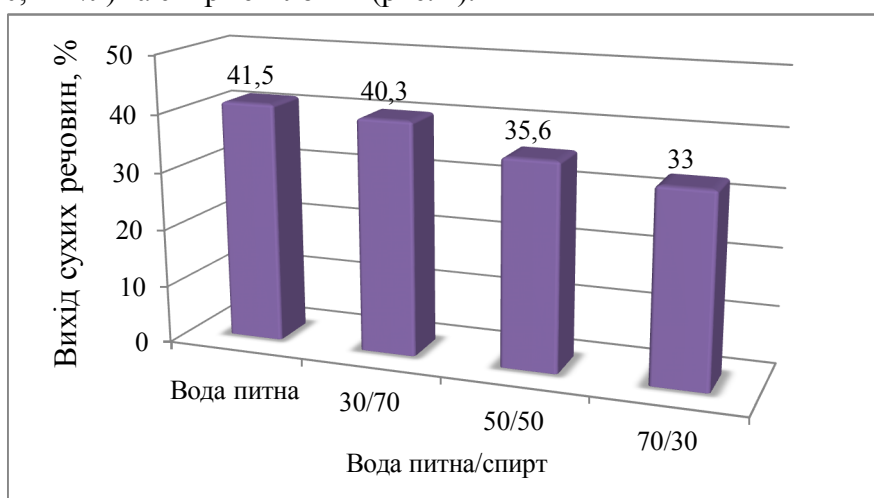


Рис. 1. Залежність виходу сухих екстрагованих речовин від виду та співвідношення екстрагентів (тривалість екстрагування 12 годин, температура 20 °С)

Таким чином, зменшення виходу продукту при підвищенні вмісту спирту вказує, що в екстракт при кімнатній температурі переходить більша частина водорозчинних речовин. Подальші дослідження проводили, використовуючи як екстрагент воду питну.

Оскільки різниця концентрацій є рушійною силою дифузійного процесу, нами досліджено вплив гідромодуля (співвідношення наважки порошку кореня кульбаби та води питної) на вихід екстрагованих речовин (після їх висушування). Екстракцію проводили при температурі 20 °С тривалістю 12 годин. Визначено (рис. 2), що починаючи з гідромодуля $1/12$ і до $1/30$, вихід сухих речовин при екстракції змінюється незначною мірою – з 41,5 до 42,3 %. При цьому витрати на випаровування екстрагента й сушіння екстракту до порошкоподібного стану суттєво зростають. Тому для подальших досліджень використовували гідромодуль $1/12$.

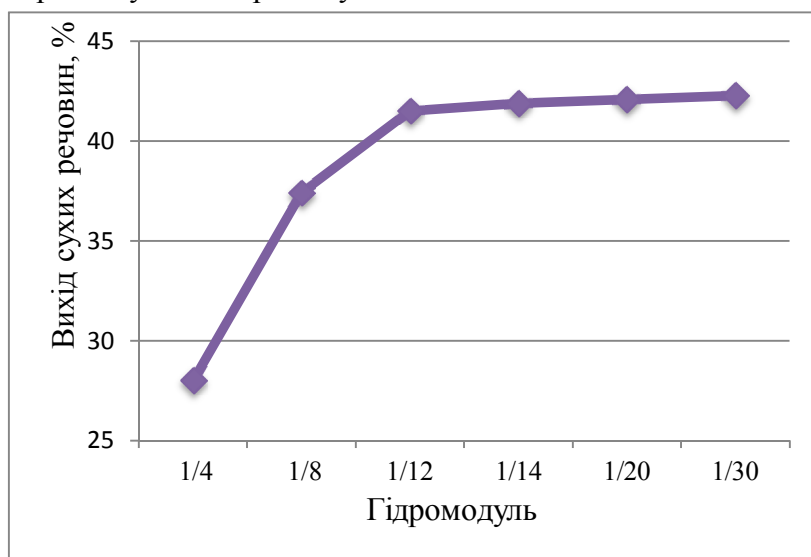


Рис. 2. Вихід сухих екстрагованих речовин залежно від гідромодуля

Наступні дослідження присвячено вивченню впливу температури та тривалості процесу на вихід екстрагованих речовин. Для цього сировину, подрібнену до розміру частинок 1-3 мм, вносили в колбу, заливали водою (гідромодуль 1:12), витримували в термошафі за різних температур (20-90 °С) протягом 1-4 годин. Вміст колб періодично перемішували. Екстракт фільтрували й висушували до постійної маси. Вихід екстрагованих речовин залежно від температури та тривалості екстрагування представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Вплив температури та тривалості екстрагування на вихід екстрагованих речовин

Час екстрагування, год	Вихід речовин, % за температури			
	20, °С	30, °С	60, °С	90, °С
1	35,8	37,8	38,4	39,2
2	38,1	39,0	40,8	41,4
3	38,9	39,5	41,8	42,5
4	39,5	40,8	42,6	43,4

Як показують табличні дані, вихід сухих екстрагованих речовин збільшується на 3,3–3,9 % з підвищенням температури, а зростання тривалості екстрагування дає збільшення на 3,0–4,2 %. З підвищенням температури водного середовища зростає молекулярна дифузія і в розчин вилучається більше водорозчинних речовин. Це пов'язано з тим, що гаряча вода сприяє кращому розриву клітинних стінок, прискорюючи таким чином дифузійний процес [5; 7].

Компонентний склад летких речовин в екстракті вивчали методом хромато-мас-спектрометрії на газовому хроматографі «FINIGANFOCUS» із мас-селективним детекто-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ром фірми TermoElectronics. Газ-носіє – гелій, потік газу-носія в колонці 1,5 мл/хв, об'єм проби – 2 мкл. Іонізація електронним ударом з енергією електронів 70 еВ. Ідентифікували компоненти, зіставляючи час утримування піків на хроматограмі і повних мас-спектрів окремих компонентів із відповідними результатами для чистих сполук у бібліотеці мас-спектрів «NIST-5» та також з використанням лінійних індексів утримування. Відносний кількісний вміст хімічних компонентів екстракту розраховано методом внутрішньої нормалізації площ піків без коефіцієнтів корекції чутливості. Результати аналізу сухого екстракту (тривалість екстрагування 12 годин, температура 20 °С) представлено на рис. 3.

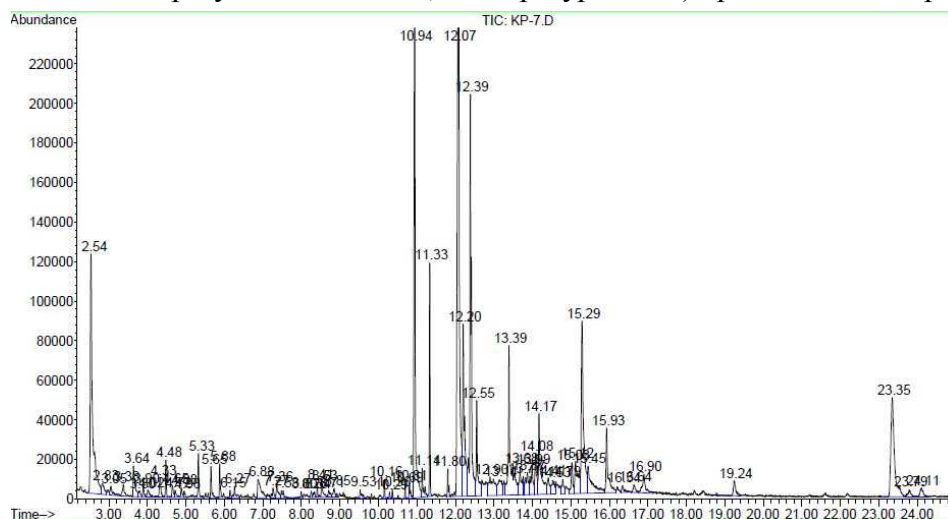


Рис. 3. Хроматограма сухого екстракту з коріння кульбаби

Згідно з отриманими даними хромато-мас-спектрального аналізу в складі екстракту містяться (%): *біофлавоноїди* (мають високу антиоксидантну, протизапальну, кардіо- і радіопротекторну дію та ін.) – кверцетин-3-моноглюкуронозид (2,2); катехін (0,2); *тритерпени* (мають протизапальну, антиоксидантну, протипухлинну, антивірусну, гепатопротекторну, жовчогінну дію, підвищують захисні сили організму, використовують для профілактики онкозахворювань) – гераніол (1,1), линалоол (0,1), нерол (0,9), α -терпеніол (0,3), карвакрол (0,3); *насичені, ненасичені жирні та ароматичні кислоти* – октадеканова (3,9), цис,цис-9,12-октадекадиенова (лінолева) (4,5), гексадеканова (3,2), (6Z)-октадеценева (7,9), (9Z)-октадеценева кислота (2,4); *альдегіди* – бензойний (0,2), бузковий (0,2), коричний (0,2); *спирти* – 1,2,3-пропантриол (3,2); *олеамід* (4,1) – амід олеїнової кислоти – ендогенний біорегулятор, який впливає на сон.

Поліненасичені жирні кислоти, що входять до складу екстракту не синтезуються в організмі людини й тому є незамінними у харчуванні. Ці кислоти беруть участь у пластичних процесах (синтезі власних жирів організму), забезпечують функції мембран клітин, сприяють перетворенню холестеролу у холеві кислоти й виведенню їх з організму, нормалізують стан стінок кровоносних судин, підвищують їхню еластичність і зменшують проникність.

Хімічний склад екстракту визначали атомно-абсорбційною спектроскопією полум'я (спектрометр GBC 2000). Вміст мінеральних речовин становить (мг/100 г сухих речовин): К – 277; Са – 127; Mg – 205; Na – 7; Mn – 2,9; Fe – 2,1; Zn – 0,5; В – 2,9; І – 2,0; Р – 3,4.

Дослідження вмісту інуліну проводили за методом Бертрана. Наважку отриманого екстракту розчиняли у воді й гідролізували хлоридною кислотою 30 хвилин при кінцевій концентрації її в екстракті 0,5 %. Потім нейтралізували екстракт 0,5 н. розчином NaOH та проводили освітлення 30 % розчином плюмбум ацетату. Розчин фільтрували і в ньому визначали вміст інуліну за [19].

За результатами розрахунків вміст інуліна у екстракті, отриманому при 20 °С за 12 годин становить 7,2 %, а в екстракті, отриманому при 60 °С за 2 години – 21,3 %. Такі результати пояснюються гарною розчинністю інуліна в гарячій воді і поганою – в холодній.

Готові сухі екстракти мають насичений коричневий колір, приємний карамельний запах, легко розчиняються як у гарячій, так і холодній воді, рН водних розчинів 5,0-5,2. На смак напоїв мають приємну гіркоту, подібно до кави, забарвлення розчину також ідентичне до кавового. Крім того, на базі кафедри харчових технологій ЧНТУ було розроблено декілька рецептур морозива для хворих на цукровий діабет з повною заміною цукру на сухий екстракт стевії [20]. До однієї з рецептур введено екстракт з кореня кульбаби (45 г у 1000 г готової суміші) – морозиво має кремово-коричнє забарвлення, приємне на смак. Розроблені рецептури морозива збалансовані за харчовою та енергетичною цінністю і показником глікемічності.

Висновки відповідно до статті. Літературні дані та отримані результати досліджень зумовлюють доцільність використання сухого екстракту з коріння кульбаби у виробництві харчоконцентратів, оскільки ця рослинна сировина збагачує продукти харчування вітамінами, мінералами, інуліном та флавоноїдами і є безпечною для споживання з погляду токсичності.

Агрегатний стан екстракту, тривалий термін зберігання, приємний аромат і смак, розчинність як у холодній, так і гарячій воді, простий метод отримання – показує перспективність використання цієї сировини для виробництва сумішей розчинних кавових напоїв, у складі морозива та кондитерських виробів, а також як заміник кави для людей, хворих на цукровий діабет.

З'ясовано, що за вмістом виходу сухих речовин (41,5-43,4 %) при отриманні екстракту доцільним є використання як екстрагенту питної води (гідромодуль $1/12$). Залежно від умов виробництва екстракцію можна проводити при температурі 60-90 °С впродовж 2-4 годин.

Список використаних джерел

1. Дослідження процесу екстракції макроелементів при виробництві продуктів на основі чаю зеленого / К. В. Рубанка, В. А. Терлецька, І. М. Зінченко, Г. М. Біла // Наукові праці НУХТ. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 228-233.
2. Бодак М. П. Використання місцевої рослинної сировини для виробництва нерозчинних кавових напоїв / М. П. Бодак // Товарознавчий вісник. – 2015. – № 8. – С. 157-163.
3. Бакуліна О. Н. Развитие пищевых технологий: использование растительных экстрактов / О. Н. Бакуліна // Пищевая промышленность. – 2007. – № 5. – С. 32-33.
4. Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Wigg.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://hesychia.in.ua/taraxacum_officinale_uk.htm.
5. Яблонська К. М. Інтенсифікація процесів отримання біологічно активних речовин з кульбаби лікарської / К. М. Яблонська, Л. О. Косогорова, З. М. Романова // Наукові праці НУХТ. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 38-44.
6. Гудзенко А. В. Фармакогностичне дослідження надземної частини кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale* Wigg.) та розробка способів аналізу біологічно активних речовин : автореф. дис. ... канд. фарм. наук: спец. 15.00. 02 «Фармацевтична хімія та фармакогнозія» / А. В. Гудзенко. – К., 2008. – 21 с.
7. Рубанка К. В. Удосконалення технології полікомпонентних сумішей рослинних екстрактів та харчоконцентратів солодких страв з їх використанням : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.01 «Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів» / К. В. Рубанка. – К., 2016. – 21 с.
8. Цуркан О. О. Вміст біологічно активних речовин у надземній частині кульбаби лікарської залежно від фази вегетації / О. О. Цуркан, Т. В. Ковальчук, А. В. Гудзенко // Фармацевтичний часопис. – 2007. – № 4. – С. 25.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. *Rabia Shabir Ahmad*. Extraction of green tea catechins for the preparation of functional drink: correlation with lifestyle-related disorders doctor of philosophy in food technology / Rabia Shabir Ahmad. – Faisalabad, 2010. – 199 p.

10. *Хомич Г. П.* Фенольні сполуки дикорослих плодів та ягід: склад, властивості, зміни при переробці : монографія / Г. П. Хомич, Л. В. Капрельянц. – Полтава : ПУЕТ, 2013. – 217 с.

11. *Производство сухих растительных экстрактов и оценка их качества / А. А. Вековцев, А. Н. Австриевских, Е. О. Ермолаева, В. М. Позняковский // Пиво и напитки. – 2005. – № 1. – С. 42–43.*

12. *Романова З. М.* Особливості технології напоїв з нетрадиційної сировини [Електронний ресурс] / З. М. Романова, Л. О. Косоголова // Проблеми екологічної біотехнології. – 2013. – № 1. – Режим доступу : <http://jrn1.nau.edu.ua>.

13. *Пехтерева Н. Т.* Функциональные напитки на основе растительного сырья / Н. Т. Пехтерева, Л. А. Догаева, В. Е. Понамарева // Пиво и напитки. – 2003. – № 2. – С. 66–67.

14. *Сорокопуд А. Ф.* Перспективы использования экстрактов клюквы, брусники и черники в пищевой промышленности / А. Ф. Сорокопуд, А. С. Мустафина, М. В. Суменков // Пищевая промышленность. – 2001. – № 9. – С. 32–33.

15. *Тупова* технологічна інструкція з виробництва морозива молочного, вершкового, пломбіру; плодово-ягідного, ароматичного, щербету, льоду; морозива з комбінованим складом сировини: ТПІ 31748658–1–2007. – [Чинна від 2008–01–01]. – К. : Асоціація українських виробників «Українське морозиво та заморожені продукти», 2007. – 100 с.

16. *Кава* натуральна розчинна. Загальні технічні умови : ДСТУ 4394:2005. – [Введ. в дію 21.04.2005]. – К. : Держстандарт України, 2005. – 26 с. – (Національний стандарт України).

17. *Концентрати* для напоїв. Загальні технічні умови : ДСТУ 4501:2005. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держстандарт України, 2005. – 27 с. – (Національний стандарт України)

18. *Сырье* и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов: ГОСТ 26929-94. – [введ. в действие с 1.01.1996]. – Минск : межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2010. – 13 с.

19. *Методы* биохимического исследования растений / под ред. Ермакова А. И. – 3-е изд. перераб. и доп. – Л. : Агропромиздат., 1987. – 456 с.

20. *Гусол Т. О.* Розробка рецептури морозива з натуральними заміниками цукру / Т. О. Гусол, О. І. Сиза // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів (м. Чернігів, 11-12 квітня 2018 р.) : тези доповідей. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – С. 237.

References

1. Rubanka, K. V., Terletska, V. A., Zinchenko, I. M., Bila, H. M. (2014). Doslidzhennia protsesu ekstraktsii makroelementiv pry vyrobnytstvi produktiv na osnovi chaiu zelenoho [Study of macronutrients extractions in green tea production]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnologii – Scientific Works of the National University of Food Technologies*, 20 (1), 228–233 [in Ukrainian].

2. Bodak, M. P. (2015). Vykorystannia mistsevoi roslynnoi syrovyny dlia vyrobnytstva nerozchynnykh kavovykh napoiv [Using local vegetable raw materials for the production of insoluble coffee beverages]. *Tovarnoznavchyi visnyk – Herald of Commodity Research*, 8, 157–163 [in Ukrainian].

3. Bakulina, O. N. (2007). Razvitie pishchevykh tekhnologii: ispolzovanie rastitelnykh ekstraktov [The development of food technology: the use of plant extracts]. *Pishchevaia promyshlennost' – Food Industry*, 5, 32–33 [in Russian].

4. *Kulbaba likarska (Taraxacum officinale Wigg.). [Medicinal dandelion]*. Retrieved from http://hesychia.in.ua/taraxacum_officinale_uk.htm.

5. Yablonska, K. M., Kosoholova, L. O., Romanova, Z. M. (2016). Intensyfikatsiya protsesiv otrymannya biolohichno aktyvnykh rehovyn z kulbaby likarskoyi [Intensification of the obtaining processes of biologically active substances from medicinal dandelion]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnologii – Scientific Works of the National University of Food Technologies*, 22 (3), 38–44 [in Ukrainian].

6. Hudzenko, A. V. (2008). *Farmakohnostychnye doslidzhennia nadzemnoi chastyny kulbaby likarskoi (Taraxacum officinale Wigg.) ta rozrobka sposobiv analizu biolohichno aktyvnykh rehovyn*

[Pharmacognostic research elevated part Dandelion (*Taraxacum officinale* Wigg.) and development of analysis methods of bioactive substances]. (Extended abstract of Candidate's thesis). Kyiv [in Ukrainian].

7. Rubanka, K. V. (2016). *Udoskonalennya tekhnolohiyi polikomponentnykh sumishey roslynnykh ekstraktiv ta kharchokontsentrativ solodkykh strav z yikh vykorystanniam* [Improvement of the technology of multicomponent mixtures of plant extracts and food concentrates of sweet dishes with them]. (Extended abstract of Candidate's thesis). Kyiv [in Ukrainian].

8. Tsurkan O.O. Kovalchuk T.V., Hudzenko A.V. (2007). Vmist biolohichno aktyvnykh rehovyn u nadzemnii chastyni kulbaby likarskoi zalezho vid fazy vechetatsii [Content of bioactive substances in the elevated part of the dandelion depending on the vegetation phase]. *Farmatsevychnyi chasopys – Pharmaceutical magazine*, 4, 25 [in Ukrainian].

9. Rabia Shabir Ahmad (2010). *Extraction of green tea catechins for the preparation of functional drink: correlation with lifestyle-related*. (Disorders doctor of philosophy in food technology). Faisalabad, Pakistan.

10. Khomych, H. P., Kapreliants, L. V. (2013). *Fenolni spoluky dykoroslykh plodiv ta yahid: sklad, vlastyvoosti, zminy pry pererobtsi*. [Phenolic compounds of wild fruits and berries: composition, properties, changes during processing]. Poltava: PUET [in Ukrainian].

11. Vekovtsev A. A., Avstrieviskih A. N., Ermolaeva E. O., Poznyakovskiy V. M. (2005). Proizvodstvo suhikh rastitelnykh ekstraktov i otsenka ih kachestva. [Production and quality assessment of dried plant extracts]. *Pivo i napitki – Beer and beverages*, 1, 42–43 [in Russian].

12. Romanova Z.M., Kosoholova L.O. (2013). *Osoblyvosti tekhnolohii napoiv z netradytsiinoi syrovyny*. [Trate of technology of drinks from alternative materials]. Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii – Ecological biotechnology's problems. Retrieved from <http://jrn1.nau.edu.ua>.

13. Pehtereva, N. T., Dogaeva, L. A., Ponamareva, V. E. (2003). Funktsionalnye napitki na osnove rastitel'nogo syiria [Functional beverages in the production of raw materials products]. *Pivo i napitki – Beer and beverages*, 2, 66–67 [in Russian].

14. Sorokopud, A. F., Mustafina, A. S., Sumenkov, M. V. (2001). Perspektivy ispolzovaniya ekstraktov klyukvy, brusniki i cherniki v pischevoy promyshlennosti. [Perspectives of using extracts of cranberry, lingonberry and blueberry in the food industry]. *Pischevaia promyshlennost – Food industry*, 9, 32–33 [in Russian].

15. Typova tekhnolohichna instruktsiia z vyrobnytstva morozyva molochnoho, vershkovoho, plombiru; plodovo-yahidnoho, aromatychnoho, shcherbetu, lodu; morozyva z kombinovanyim skladom syrovyny: TTI 31748658–1–2007 [Typical technology instruction of ice-cream production: milk ice-cream, creamy, plombieres, fruit-berry, aromatic, sherbet, frozen fruit]. (2008).

16. Kava naturalna rozchynna. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU 4394:2005 [Instant coffee. General specifications] (2005).

17. Kontsentraty dlia napoiv. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU 4501:2005 [Concentrated products for brverages. General specifications] (2005).

18. Syrye i produkty pishchevyie. Podgotovka prob. Mineralizatsiya dlya opredeleniya sodержaniya toksichnykh elementov: GOST 26929-94 [Raw materials and foodstuff. Samples preparation. Mineralization for toxic elements test] (1996).

19. Yermakova, A. I. (Ed.) (1987). *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods of biochemical studies of plants]. Leningrad: Agropromizdat [in Russian].

20. Husol, T. O., Syza, O. I. (2018). Rozrobka retseptury morozyva z naturalnymy zaminnykamy tsukru [Creation of ice cream recipes with natural sugar substitutes]. *Novitni tekhnolohiyi u naukoviy diyalnosti i navchalnomu protsesi: Vseukrayinska naukovo-praktychna konferentsiya molodykh uchenykh i studentiv – All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students* (Chernihiv, April 11-12, 2018). Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].

UDC 664.87

Olga Sizaya, Anna Kychka, Tetyana Husol, Olesya Savchenko

DANDELION ROOT EXTRACTS AS PERSPECTIVE RAW MATERIALS IN PRODUCTION OF FOOD CONCENTRATES

Urgency of the research. One of the effective ways of raising the level of inhabitants' health is making foodstuff adding plant raw materials. This is an unlimited resource of natural biological active substances, which enrich human organism with vitamins, minerals, antioxidants, organic acids and other necessary substances.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Target setting. Perspective way of foodstuff assortment expansion and increase their food value is the usage of medicinal dandelion root as raw material (*Taraxacum officinale* Wigg). Biological active materials of dandelion are inulin and flavonoids. Inulin reduces the risk of nascence cardiovascular diseases, senses an immunity of human, has immunomodulatory and hepatoprotective influence, allows to reduce sugar maintenance in the blood of diabetics.

Actual scientific researches and issues analysis. In scientific publications it has been shown that plant extracts are the most perspective raw materials for creating foodstuff, which are balanced by maintenance of bioactive substances, because plant extracts are ingredients, which combine naturality, functionality and contain essential substance in concentrate amount.

Uninvestigated parts of general matters defining. There is not much information about using powders and extracts from medicinal dandelion root as a component in food concentrates such as coffee.

The research objective. Substantiation of feasibility using powder from medicinal dandelion root and determination of optimal conditions for getting dry extracts from its.

The statement of basic materials. It has been found out that the solid content in amount of 41.5-43.4% during extracting from powder of dandelion root the use drinking water as leach (duty of water 1/12), makes sense because it is the cheapest solvent. Depending on the production conditions, extracting can be carried out at temperature 60-90°C during 2-4 hours. The content of heavy metals in raw materials and the content of macro- and trace elements in the extract from the roots of the dandelion are researched using the atomic absorption method; the component composition of volatile substances of an extract is analyzed using the method of chromatographic mass spectrometry; Inulin content – using Bertran method.

Conclusions. The obtained results determine the expediency of using dandelion powder in the composition of coffee beverages, because this plant raw material enriches the drink with vitamins, minerals, inulin and flavonoids and is safe for consumption in terms of toxicity.

Dry extract of dandelion root has high maintenance of bioactive substance, antioxidants and restorative behavior. State of aggregation, prolonged keeping time, pleasant flavor and taste, solubility in cold and in hot water, easy method of extraction give perspectives for using this raw material in introduction of instant coffee beverages, as a component in the ice-cream, pastry and a substitute of coffee for diabetics.

Keywords: dandelion root (*Taraxacum Officinale* Wigg); extraction; extract; biological active substances.

Table: 3. Fig.: 3. References: 20.

Сиза Ольга Іллівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sizaya Olga – Doctor in Technical Sciences, Professor, Head of the Food Technologies Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: syza7@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4624-9656>

ResearcherID: H-1156-2016

Scopus Author ID: 6602398626

Кичка Анна Леонідівна – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kychka Anna – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: anna.kychka@gmail.com

Гусол Тетяна Олександрівна – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Husol Tetyana – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kissadaret@gmail.com

Савченко Олеся Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Savchenko Olesya – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technologies Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: savchenkolm68@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0385-7232>

ResearcherID: H-1217-2016

Scopus Author ID: 7006763332

УДК 620.197

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-240-250

Вікторія Воробйова, Анастасія Шакун, Інна Трус,
Олена Сердюк, Володимир Ткачук, Олена Чигиринець

ВИВЧЕННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ТА ПРОТИКОРОЗІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ АБРИКОСА (*Prunus armeniaca* L.)

Актуальність теми дослідження. Проблема погіршення екологічної ситуації стає все більш актуальною. Тому пріоритетним напрямком є використання екологічно чистих продуктів.

Постановка проблеми. На сьогодні недостатньо наукової інформації про компонентний склад різних рослин, тому необхідно знайти нові джерела для виділення природних активних сполук та отримання різних продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи літературу про поліфенольний склад абрикосових побічних продуктів, отриманих шляхом екстракції водою.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Інформація про компонентний склад спиртового екстракту абрикосових вичавків є дуже обмеженою.

Постановка завдання. Вивчення комплексної характеристики компонентних профілів екстракту абрикосових вичавків (*Prunus armeniaca* L.) залежно від використовуваних систем розчинників. Інгібуюча ефективність рослинного екстракту не досліджена.

Вклад основного матеріалу. Вивчено комплексну характеристику компонентних профілів екстракту абрикосових вичавків (*Prunus armeniaca* L.) залежно від використовуваних систем розчинників. Отримано екстракти пропан-2-оломта сумішшю силікону і пропан-2-ол абрикосових вичавків характеризуються методами ІЧ, УФ-спектроскопією та газозоохромато-мас-спектрометрією (GC/MS). Показано, що значно різні класи сполук та їх кількість були екстраговані різними системами розчинників. Різні розчинники повинні бути використані для вивчення характеристик різних композицій активних сполук у різних хімічних технологіях. Найбільш ефективним розчинником для сумарних екстракційних сполук з абрикосових вичавків була суміш пропан-2-ол та D5. Підтверджено наявність альдегідів та терпових спиртів у екстрактах абрикосових вичавків. Екстракт вичавків абрикоса досліджено як новий екологічно безпечний легкий інгібітор атмосферної корозії сталі. Протикорозійні властивості оцінено масометричним методом.

Висновки відповідно до статті. Відходи абрикоса (*Prunus armeniaca* L.) є перспективними для його подальшого вивчення та використання сировини як джерела біологічних активних речовин у розробці нових функціональних продуктів. Це попереднє дослідження дає уявлення про ізоляцію основних активних компонентів, присутніх у вичавках абрикоса, а також сприяє розробці біологічно активних сполук із сировини.

Ключові слова: абрикосові вичавки; екстракт; пропан-2-ол; декаметилциклопентасилоксан; альдегіди; терпенові спирти.

Рис.: 4. Табл.: 4. Бібл.: 18.

Актуальність теми дослідження. У зв'язку зі зміною екологічної ситуації на ринку стає все більш важливим придбання екологічно чистих продуктів, тобто з максимальною заміною синтетичних компонентів на натуральні. Багато хімічно активних речовин зустрічаються в рослинній сировині [1; 2].

Постановка проблеми. Було проведено багато досліджень, що привело до розробки природних «зелених» продуктів. Проте наукова інформація про компонентний склад різних рослин, особливо тих, які менш широко використовуються в медицині або харчовій промисловості, усе ще залишається дефіцитною. Тому цікавим і корисним завданням є пошук нових джерел для виділення природних активних сполук та отримання різних продуктів [3–7]. Деякі типи рослинної сировини промислового значення – це відходи обробки плодівих та ягідних культур. Використання сільськогосподарських та харчових побічних продуктів є економічним рішенням для хімічної промисловості. Однак великі кількості фруктових відходів щорічно відкидаються на переробних підприємствах. Це не тільки позбавляє потенційно цінного ресурсу, але також загострює вже серйозну проблему утилізації [8].

Абрикос (*Prunus armeniaca* L.) – одне з найбільш широко вирощених фруктових дерев із загальним світовим виробництвом приблизно $3,4 \times 10^6$ тонн. Поточна продукція абрикоса в Україні становить близько 160 000 тонн на рік. З цим врожаєм на рік вирощується приблизно 4000 тонн абрикосової макухи. Ці залишки називаються вичавками. Вони складаються переважно з фруктових шкірок, целюлози та насіння і вважаються відходами без вартості. На сьогодні в Україні немає систематичного збору та утилізації вичавків; таким чином, цінний продукт із великим промисловим потенціалом залишається невикористаним.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі є декілька посилань на поліфенольний склад абрикосових побічних продуктів, отриманих шляхом екстракції водою [8; 9]. Проте різні системи розчинників можуть використовуватися для вилучення активних компонентів із рослинних матеріалів [10].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У більшості досліджень достатньо вивчено тільки профіль водного екстракту, тоді як інформація про компонентний склад спиртового екстракту є дуже обмеженою. Загальновідомо, що концентрація та склад хімічно активних речовин у екстракції абрикосових вичавків значною мірою залежать від типу розчинника, який був вибраний для екстракції [11]. Для отримання активних речовин із рослинних матеріалів зазвичай використовують воду, водні суміші етанолу, метанолу, 2-пропанолу та ацетону [12]. Є багато успішних наукових праць про використання різних екстрактів рослинних матеріалів, у тому числі вичавків абрикоса, в різних сферах «зеленої» хімічної технології. Основними з них є косметична і харчова промисловість, а також виробництво наночастинок, розробка екологічно чистих інгібіторів корозії [4–6], створення альтернативи синтетичним антиоксидантам та консервантам [13–15].

Постановка завдання. Метою цієї роботи було провести комплексну характеристику композиційних профілів екстракту абрикосових вичавків залежно від використаних систем розчинників, щоб забезпечити максимальну оцінку можливостей використання в хімічній промисловості. Це дослідження надає багато корисної інформації для харчової та косметичної промисловості для вибору відповідних умов вилучення бажаних компонентів з абрикосових вичавків та служить гарною базою для інших дослідників.

Експериментальна частина

Об'єктом дослідження є подрібнені сухі абрикосові вичавки. Сорт абрикоса (*Prunus armeniaca* L.), відомий під місцевою назвою «Фаворит», було зібрано (протягом липня 2017 року) у двох географічних регіонах України (Херсон, Миколаїв). Перед екстракцією цю сировину піддають подрібненню до частинок розміром 5×10^{-1} мм для підвищення ефективності масового перенесення активних компонентів із рослинного матеріалу до розчинника. Для більш повної екстракції проведено серію експериментів із гравіметричного аналізу для визначення сухого залишку, з якого можна стверджувати, що гідромодуль рослинної сировини до екстрагенту 2:1. Для порівняння були вибрані дві часто використовувані системи розчинників, включаючи пропан-2-ол та пропан-2-ол і декаметилциклопентасилоксан (1/1).

Компонентний склад летких речовин екстракту вичавків абрикоса досліджували методом хромато-мас-спектрометрії на газовому хроматографі «FINIGAN FOCUS» як детектор із газовим хроматографом. Умови хроматографування були такими: капілярна колонка HP-5MS, $l = 30$ м, $d = 0,25$ мм; температура інжектора – $+250$ °C; температура детектора – $+280$ °C; товщина фази – $0,25$ мкм; газ носій – гелій; потік газосія – $1,5$ мл/хв; програма: 100 °C (2) \rightarrow 10 °C/хв \rightarrow 280 °C (10); діапазон мас: 30–500 дальтон; Split; Split Flow – 15 мл/хв; об'єм проби – 2 мкл. Ідентифікація компонентів здійснена зіставленням часу утримування піків на хроматограмі й повних мас-спектрів окремих компонентів з відповідними даними чистих з'єднань бібліотеки мас-спектрів «NIST-5». Відносний кількісний вміст хімічних компонентів екстракту розраховане методом внутрішньої нормалізації площ піків без коригуючих коефіцієнтів чутливості.

Реєстрацію ІЧ – спектрів екстракту рослинної сировини здійснювали на ІЧ – Фур'є – спектрометрі Jasco FT/IR – 4000. Умови дослідження такі: діапазон реєстрації спектра – $4000 - 400$ cm^{-1} ; роздільна здатність – 4 cm^{-1} ; кількість сканів – автоматично; швидкість сканування – 1 мм/с; режим сканування – у прохідному світлі; детектор – TGS.

Ідентифікацію екстрагованих сполук проводили, використовуючи двопробеневий УФ-Спектрофотометр УФ-1601 з ПК (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan). Спектри UV-Vis були записані при 200-800 нм.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до отриманих даних хромато-мас-спектрального аналізу екстракт пропан-2-ол сухих вичавків абрикоса містить 38 окремих компонентів, присутніх у кількості більше 0,54 % (рис. 1; табл. 1).

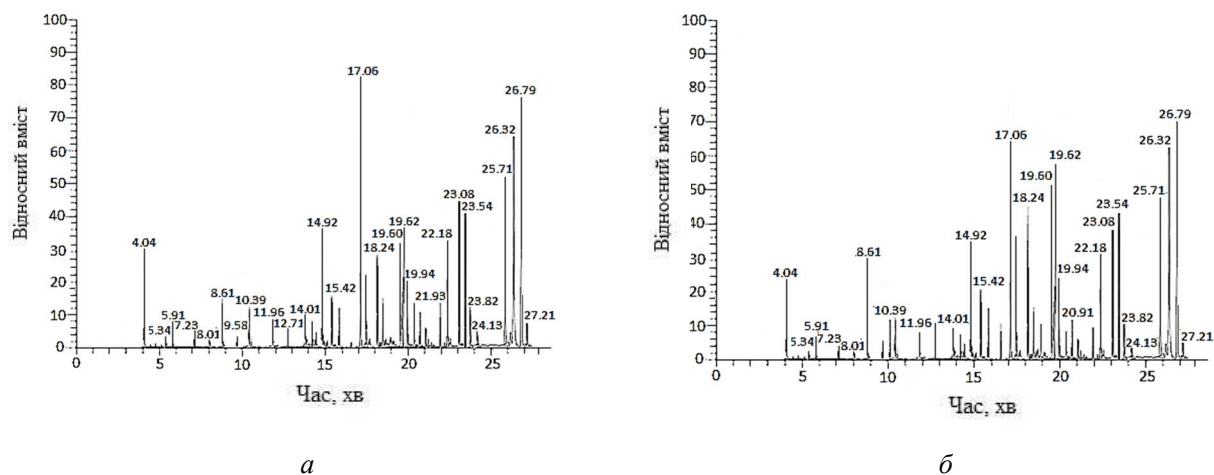


Рис. 1. Спектральна хроматограма ГХ/МС екстракту абрикосових вичавків:
а – пропан-2-ол; б – пропан-2-ол та декаметилциклопентасилоксан

Таблиця 1

Компонентний профіль легких речовин екстрактів вичавків абрикоса

№	Час утримання, хв	Назва сполуки	Молекулярна формула	Молекулярна маса, г / моль	Кількісне співвідношення, %	
					пропан-2-ол	пропан-2-ол-D5
1	2	3	4	5	6	7
1	4,04	гексанол	C ₆ H ₁₄ O	102	5,67	3,79
2	5,34	(Z)-3-гексенол	C ₆ H ₁₂ O	100	0,76	0,57
3	5,91	(E)-2-гексенол	C ₆ H ₁₂ O	100	1,87	1,64
4	7,23	2-гексанон	C ₆ H ₁₂ O	100	1,03	1,00
5	8,01	3-гексанон	C ₆ H ₁₂ O	100	0,54	0,63
6	8,61	(Z)-2-гептеналь	C ₇ H ₁₂ O	112	3,65	4,39
7	9,58	гексаналь	C ₆ H ₁₂ O	100	1,32	1,21
8	10,06	бензальдегід	C ₇ H ₆ O	106	1,94	2,60
9	10,39	(E)-2-гексаналь	C ₆ H ₁₂ O	98	3,10	2,64
10	11,96	гептаналь	C ₇ H ₁₄ O	114	2,18	1,76
11	12,71	2-фенілацетаальдегід	C ₈ H ₈ O	120	1,29	2,46
12	14,01	(E)-2-гексил ацетат	C ₈ H ₁₄ O ₂	142	2,78	2,37
13	14,37	5-бутилоксолан-2-один (γ-окталактон)	C ₈ H ₁₄ O ₂	142	2,03	1,99
14	14,43	ендо-1,7,7-триметил- біцикло[2,2,1]гептан-2-ол (ізорборнеол)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	1,03	1,07
15	14,92	2,6,6-триметилциклогексен-1-карбальдегід (β-циклоцитраль)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	5,17	4,71
16	15,42	(2E,4E)-дека-2,4-дісналь	C ₁₀ H ₁₆ O	152	3,65	3,19
17	15,86	(Z)-3,7-диметил-2,6-октадієн-1-ол (нерол)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	3,02	2,85

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
18	16,74	(9Z,12Z,15Z)-9,12,15-октадекатриєнова кислота (α -Ліноленова кислота)	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278	0,63	2,17
19	17,06	(2E)-3,7-диметил-2,6-октадієн-1-ол (гераніол)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	8,54	6,94
20	17,29	(9Z,12Z)-октадека-9,12-дієнова кислота (лінолева кислота)	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	4,20	4,78
21	18,24	Гексадеканова кислота (Пальмітинова кислота)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	5,40	5,63
22	18,32	3,7-диметилокта-1,6-дієн-3-ол (ліналол)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	3,06	2,89
23	18,94	1-тетрадеканова кислота	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	-	2,01
24	19,60	октадеканова кислота	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	6,02	6,11
25	19,62	(9Z)-октадек-9-єнова кислота	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	182	6,10	6,59
26	19,94	5-гексилосолан-2-один (γ -декалактон)	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	3,65	3,63
27	20,67	(7aR)-5,6,7,7a-тетрагідро-4,4,7a-тетраметил-2(4H)-бензафуранон	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	180	2,05	2,07
28	20,91	5-пентил-5-пентанолід (δ -декаланон)	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	2,87	2,52
29	21,09	(Z)-3-гексил бутаноат	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	1,51	1,36
30	21,23	(9Z)-гексадек-9-єнова кислота	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	254	-	0,54
31	21,93	гексил гексаноат	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	2,12	2,20
32	22,18	(1R,2S,6S,7S,8S)-8-ізопропіл-1,3-диметилтрицикло[4,4,0,0]дек-3-єн (α -копасн)	C ₁₅ H ₂₄	204	4,02	4,38
33	23,08	3-циклогексен-1-ол, 4-метил-1-(1-метилетил) (4-терпінеол)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	4,98	4,61
34	23,54	2-(4-метилциклогекс-3-єн-1-ил)пропан-2-ол (α -терпінеол)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	5,98	5,47
35	23,82	(3E)-4-(2,6,6-триметилциклогекс-1-єн-1-ил)бут-3-єн-2-он (β -іонон)	C ₁₃ H ₂₀ O	192	1,97	1,79
36	24,13	4-(2,6,6-триметилциклогекса-1,3-дієніл)бутан-2-он (дигідро- β -іонон)	C ₁₃ H ₂₂ O	194	0,98	0,54
37	25,71	3,7-диметил-2,6-октадієн-1-илацетат	C ₁₃ H ₂₂ O	170	6,10	5,72
38	26,32	Дигідро-5-октил-2(3H)-фуранон	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	198	7,65	6,74
39	26,79	3,7,11-триметил-1,6,10-додекатрієн-3-ол (неролідол)	C ₁₅ H ₂₆ O	222	8,54	7,04
40	27,21	(2E,6E)-3,7,11-триметилдодека-2,6,10-трієн-1-ол (фарнезол)	C ₁₅ H ₂₆ O	222	1,38	0,87

Екстракт абрикосових вичавків містить підвищений вміст терпенових спиртів: ліналол (3,06%), α -терпінеол (5,98%), нерол (3,02%), гераніол (8,54%), ізоборнеол (1,03%), неролідол (8,54%), фарнезол (1,38%) та інші. Ці сполуки становили понад 18% від загальної кількості летких речовин у абрикосових вичавках.

В екстракті, отриманому з використанням суміші пропан-2-ол і декаметилциклопентасилоксану, знайдено 40 сполук, знайдені в описаному раніше екстракті. Цей екстракт містить переважну кількість жирних кислот та альдегідів різної природи, спиртів, а також терпеноїдних сполук. Повний список ідентифікованих сполук наведено в табл. 1, а мас спектри основних сполук в рис. 2.

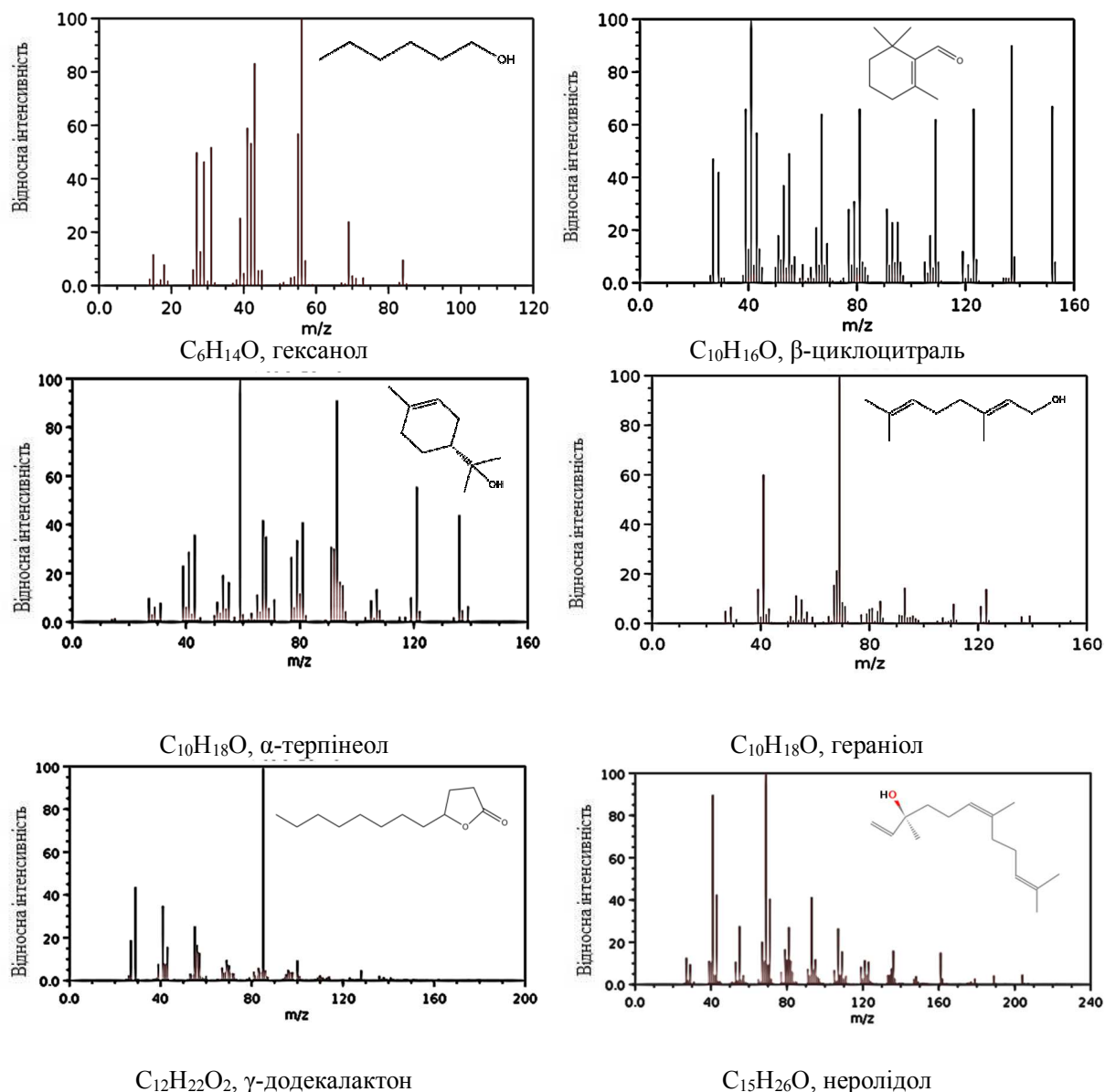


Рис. 2. Масовий спектр та структура основних компонентів, ідентифікованих GC-MS екстрактів абрикосових вичавків

Наявність в екстракті функціональних груп вищих органічних сполук підтверджується аналізом рідкої фази екстракту абрикосових екстрактів методом ІЧ-спектроскопії. ІЧ-спектр (рис. 3, табл. 2) – це класичний спектр із гарною роздільною здатністю ліній, що вказує на хімічну стійкість зразка. В екстракціях часто виникають колоїдні системи, які спотворюють вихідну лінію. Вологість зразка значно розширює піки. У спектрі можна розрізнити смуги поглинання в діапазоні $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$, що, ймовірно, вказує на наявність міжмолекулярного водневого зв'язку. Наявність аліфатичних груп CH_3 та CH_2 позначається сильним поглинанням у діапазоні $2930\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ (валентні коливання груп CH_3 та CH_2) та в діапазоні $1463\text{--}1377\text{ cm}^{-1}$ (деформаційні коливання). Ряд сигналів в області 902 cm^{-1} вказує на коливання зав'язків CH . Існують також смуги поглинання в діапазоні $1611\text{--}1617\text{ cm}^{-1}$, 1505 і 3400 cm^{-1} , характерні для коливань ароматичних структур. Слід зазначити, що поряд з ароматичними сполуками є сполуки з кон'югованими подвійними зв'язками (такими як кон'юговані дієни), про що свідчить наявність смуги поглинання в

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

спектрі при 1653 та 973 cm^{-1} . ІЧ-спектр усіх екстрактів має інтенсивні смуги поглинання в діапазоні 1700-1735 cm^{-1} , що характерно для валентних коливань $\nu\text{C}=\text{O}$ груп.

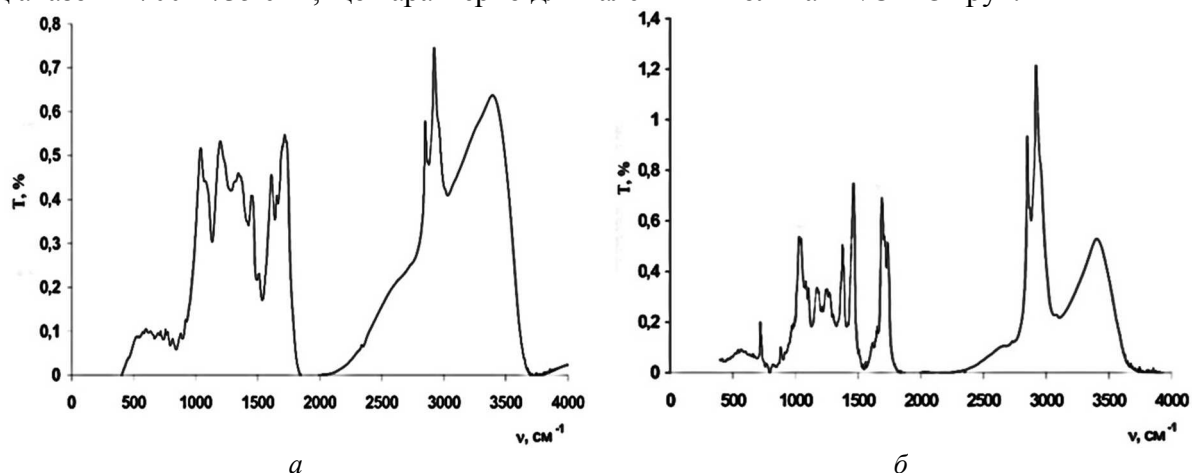


Рис. 3. ІЧ-спектр екстракту абрикосових вичавків:
а – пропан-2-ол; б – 2-пропанол і декаметилциклопентасилоксан

У смугі поглинання 3800-2600 cm^{-1} , де розташовані валентні коливання ОН-груп, свідчить про те, що всі екстракти містять карбонові кислоти. Доказом є наявність дуже широкої смуги максимумом 2650 cm^{-1} , пов'язаної з коливаннями νOH карбонільних груп, і інтенсивною смугою при 1700-1735 cm^{-1} , пов'язаної з валентною вібрацією $\nu\text{C}=\text{O}$ карбонільних груп. Що стосується інших кисневмісних сполук, то неможливо зробити чітких висновків, оскільки картина в діапазоні 3200-3800 cm^{-1} ускладнюється наявністю обмеженої води у складі екстрактів.

Аналіз спостережуваних смуг в області 1000-1200 cm^{-1} разом із піком утримання 1735 cm^{-1} в діапазоні карбонілу вказує на присутність в екстрактах кетоефірних сполук. Це найбільш чітко видно для силіконового екстракту.

Таблиця 2

Смуги поглинання (cm^{-1}) в ІЧ-спектрі екстрактів абрикосових вичавків

Смуга поглинання для функціональних груп		Екстракт абрикосових вичавків	
		пропан-2-ол	пропан-2-ол-D5
$\nu(\text{C}-\text{H}$ (ароматичні))	3460-3205	3394	3403
$\nu(\text{CH}_3)$	2975-2810	2960	2960
$\nu(\text{CHO}$ альдегіди, (2 зв'язки))	2900-2820; 2775-2700	2921, 2850	2919, 2850
$\nu(\text{OH}$ зв'язані з Н зв'язком)	2700-2500	~2600	~2650
$\nu(\text{C}=\text{O})$	1750-1600	1718	1735
$\nu(\text{C}=\text{C}$ (ненасичені))	1620-1680	1654	1653
$\nu(\text{C}=\text{C}$ (ароматичні))	1705-1660	1611, 1505	1617, 1505
$\delta(\text{CH}_2)$	1470-1430	1456	1463
$\delta(\text{CH}_3)$	1380-1370	1345	1375
γ (СН (маятникові коливання))	982-970	-	973
Маятникові коливання	720-710	719	719

Спектроскопічний метод UV-Vis є одним з основних методів якісного визначення хімічних сполук, які присутні в рослинних фітокомпонентах. Вибірка якісного профілю спектра УФ екстракту здійснюється при довжині хвилі від 200-800 нм (рис. 4).

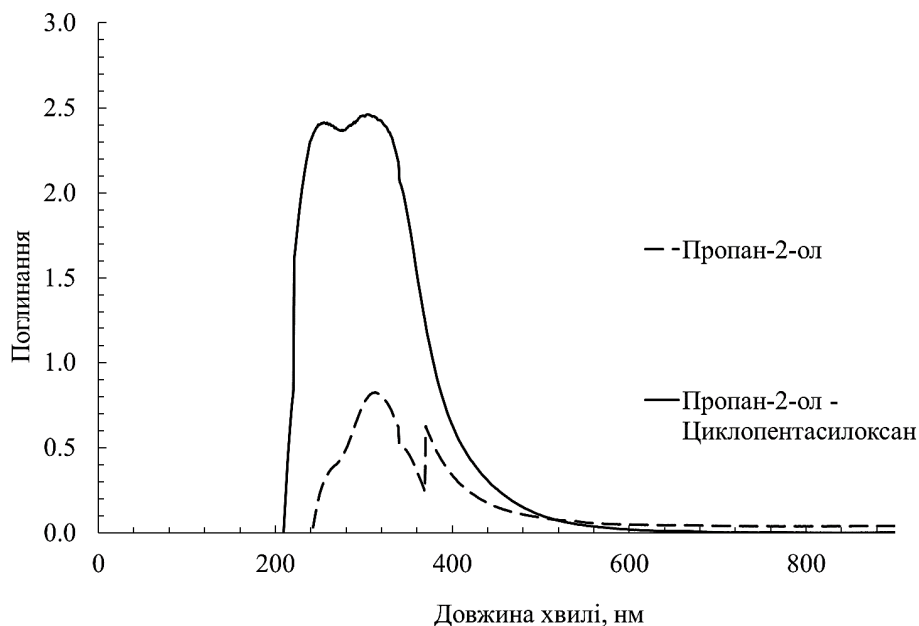


Рис. 4. Спектри ультрафіолетового поглинання екстрактів абрикосових вичавків

Для правильного відтворення ультрафіолетових спектроскопічних даних досліджено як самі розчинники, так і екстракти. Після аналізу спектра, отриманого у вибраному діапазоні, було встановлено, що активність спектра активно впливає на розчинник, тому проводили спектроскопію зразків з компенсацією пропан-2-олу та суміші пропан-2-олу та D5 (50/50 %) встановлено в каналі віднімання. Водночас досягнуто максимальне значення спектра.

Різні сполуки мають свою характерну довжину хвилі максимального поглинання. Для пропан-2-ол-екстракту пікові значення 313 нм та 370 нм вказують на терпеноїдні сполуки та їх похідні. Згідно з GC / MS, екстракт містить найбільш поширені терпеноїдні сполуки, а саме гераніол та неролідол. На УФ-спектрі екстракту, отриманого із суміші пропан-2-олу та декаметилциклопентасилоксану, показано 2 піки 248 нм та 319 нм, що вказує на поширеність сполук у класі жирних кислот та терпеноїдів. Тому аналіз ультрафіолетового спектра отриманого екстракту підтвердив наявність сполук із переважачим вмістом у екстрактах абрикосових вичавків.

Унікальний склад екстрактів визначає можливість їх застосування в різних галузях хімічної технології. Екстракти можна використовувати як готовий продукт, а також екстрагувати окремі речовини з екстрактів, які мають власне специфічне функціональне застосування (табл. 3). Таким чином, екстракт можна застосовувати в медицині для лікування багатьох видів захворювань та як складову їжі, косметичних продуктів, що мають лікувально-профілактичний ефект [16–18]. Наявність цих фітохімічних речовин робить абрикос потенційним джерелом біологічно активних сполук.

Таблиця 3

*Природа та біологічна активність фітокомплексів
усієї рослинної частини екстрактів пасти абрикоса*

№	Час утримання, хв	Назва сполуки	Клас сполуки	Використання
1	2	3	4	5
1	4.04	Гексанол	Спирт	Протипінні речовини, гідротропні речовини, антисептики
2	14.92	β -циклоцитраль	Монотерпеновий ациклічний альдегід	Ароматний, ароматичний, антисептичний і протизапальний агент
3	17.06	Гераніол	Терпеноїд	Ароматна речовина, протигрибкова, показує властивості антибіотиків
4	18.24	Гексадеканова кислота	Насичені жирні кислоти	Протизапальний, антиоксидант

1	2	3	4	5
5	19.60	Стеаринова кислота	Аліфатична одноосновна карбонова кислота	Емульгувальний агент, стабілізатор
6	19.62	(9Z)-Октадек-9-енова кислота	Мононенасичена жирна кислота	Емульгувальний агент
7	22.18	α -сораєне	Трициклічні сесквітерпени	У парфумерії, ароматичні речовини і запахи, як і в медицині, наприклад, як антигельмінтні агенти
8	23.08	4-terpineol	Монотерпенові спирти	Розчинник, пластифікатор, флотаційний агент. Має антимікробні властивості
9	23.54	α -terpineol		
10	25.71	Geranylacetone	Терпеноїд	Ароматичні речовини, антибактеріальні речовини
11	26.32	γ -dodecalactone	Лактон	Ароматичні речовини
12	26.79	Nerolidol	Терпеноїд	Запахні речовини

Для ізопропанольного екстракту досліджена протикорозійна ефективність при нанесенні з парогазової фази. Аналіз результатів прискорених корозійних випробувань (табл. 4) показує, що досліджувані леткі фракції екстракту вичавків абрикоса забезпечують захист від корозії сталі в умовах періодичної конденсації вологи. Швидкість корозії та ступінь захисту дорівнюють відповідно 0,0186 г/м²·год та 90,05 %.

Таблиця 4

*Швидкість корозії та ступінь захисту сталі Ст3
(періодична конденсація вологи протягом 21 доби)*

Час формування плівки	Швидкість корозії, г м ⁻² h ⁻¹	Ступінь захисту (ІЕ), %
12	0,0938	50,06
24	0,0770	58,99
30	0,0610	67,52
35	0,0526	71,98
40	0,0518	72,39
48	0,0186	90,05
72	0,0178	91,00
Без інгібітору	0,1879	-

Швидкість процесу формування захисної плівки та її захисні властивості залежать як від хімічної природи складових композиції легкого інгібітора та властивостей поверхні металу, так і від умов формування плівки. Встановлено, що швидкість корозії сталі зменшується, а інгібуюча ефективність зростає при збільшенні часу формування захисної плівки. Так, встановлено, що ступінь захисту залежить від часу формування поверхневої плівки із летких фракцій екстракту вичавків абрикоса і становить 50,06-90,05 %, що дозволяє рекомендувати цей вид ЛІАК для захисту сталі Ст3 від атмосферної корозії. Оптимальним часом для формування захисної плівки є витримка сталевих зразків у атмосфері екстракту протягом 40-48 год. Слід зауважити, що обробка зразків у паровій фазі індивідуального ізопропанолу не підвищує корозійну тривкість металу.

Висновки відповідно до статті. Підбиваючи підсумки, наші результати чітко показали, що значно різні класи сполук та їх кількість були екстраговані різними системами розчинників. Різні розчинники повинні бути використані для вивчення характеристик різних композицій активних сполук у різних хімічних технологіях. Найбільш ефективним розчинником для сумарних екстракційних сполук з абрикосових вичавків була суміш пропан-2-ол та D5. У цьому дослідженні підтверджено наявність альдегідів та терпових спиртів у екстрактах абрикосових вичавків.

Таким чином, можна зробити висновок, що відходи абрикоса (*Prunus armeniaca* L.) є перспективними для його подальшого вивчення та використання сировини як джерела біологічних активних речовин у розробці нових функціональних продуктів. Це попереднє дослідження дає уявлення про ізоляцію основних активних компонентів, присутніх

у вичавках абрикоса, а також сприяє розробці біологічно активних сполук із сировини та цільової розробки засобів протикорозійного захисту.

Список використаних джерел

1. *Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (Lycium barbarum) and black goji berry (Lycium ruthenicum)* / Islam, T., Yu, X., Badwal, T. S., & Xu, B. // *Chemistry Central Journal*. – 2017. – № 11. – P. 59.
2. *SPME–GC–MS detection of volatile compounds in apricot varieties* / Gokbulut, I., & Karabulut, I. // *Food Chemistry*. – 2012. – № 132. – P. 1098.
3. *Apricot (Prunus armeniaca L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load* / Roussos, P. A., Sefferou, V., Denaxa, N. K., Tsantili, E., & Stathis, V. // *Scientia Horticulturae*. – 2011. – № 129. – P. 472.
4. *Screening for antioxidant and antibacterial activities of phenolics from Golden Delicious apple pomace* / Zhang, T., Wei, X., Miao, Z., Hassan, H., Song, Y., & Fan, M. // *Chemistry Central Journal*. – 2016. – № 10. – P. 47.
5. *Study of the Mechanism of Action of the Isopropanol Extract of Rapeseed Oil Cake on the Atmospheric Corrosion of Copper* / Chyhyrynets, O. E., Fateev, Y. F., Vorobiova, V. I. et al. // *Mater Sci* (2016) 51: 644.
6. *Grape Pomace Extract as Green Vapor Phase Corrosion Inhibitor* / Vorobiova V., Chyhyrynets O., Vasylykevych O. // *Mater.Sci*. – 2015. – № 50. – P. 726.
7. *A Study of Rape-Cake Extract as Eco-Friendly Vapor Phase Corrosion Inhibitor* / Chyhyrynets' E., Vorobyova V. // *Chemistry & Chemical technology*. – 2014. – 8, 2. – P. 235.
8. *Vitamins, Flavonoids, and Phenolic Acid Levels in Early- and Late-ripening Apricot (Prunus armeniaca L.) Cultivars from Turkey* / Gündoğdu, M., Kan, T., Gecer, M. K. // *HortScience*. – 2013. – № 48. – P. 696.
9. *Berry Fruits as a Source of Biologically Active Compounds: the Case of Lonicera Caerulea* / Svarcova, I., Jan, H., Valentova, K. // *Biomedical Papers*. – 2007. – № 151. – P. 163.
10. *In Vitro Antimicrobial Activity of Dried and Fresh Leaf Extracts of Old and Young Apricot Trees (Prunus Armeniaca)* / Karapetyan T. D., Mirzoyan V. S., Hanisyan R. M. 1, Sahakyan. Zh. // *The New Armenian Medical Journal*, 2011, 5, 44.
11. *The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region* / Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., & Boras, M. // *Food chemistry*, 2007, 102, 966.
12. *Antioxidant activity, volatile composition and sensory profile of four new very-early apricots (Prunus armeniaca L.)* / Melgarejo, P., Calín-Sánchez, Á., Carbonell-Barrachina, Á. A., Martínez-Nicolás, J. J., Legua, P., Martínez, R., & Hernández, F. // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94, 85.
13. *Green synthesis of Pd nanoparticles at Apricot kernel shell substrate using Salvia hydrangea extract: Catalytic activity for reduction of organic dyes* / Khodadadi B., Bordbar M., Nasrollahzadeh M. // *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, 409, 1.
14. *Phenolic compounds, flavonoids, lipids and antioxidant potential of apricot (Prunus armeniaca L.) pomace fermented by two filamentous fungal strains in solid state system* / VasileDulf K., Vodnar D., Dulf E., Pintea A. // *Chemistry Central Journal*, 2017, 11, 92.
15. *Insights into research on phytochemistry and biological activities of Prunus armeniaca L. (apricot)* / Erdogan-Orhan, I., & Kartal, M. // *Food Research International*, 2011, 44, 1238.
16. *Characterization of aroma potential of apricot varieties using different extraction techniques* / Solís-Solís, H. M., Calderón-Santoyo, M., Schorr-Galindo, S., Luna-Solano, G., Ragazzo-Sánchez, J. A. // *Food chemistry*, 2007, 105, 829.
17. *Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time* / Lapornik, B., Prošek, M., & Wondra, A. G. // *Journal of food engineering*, 2005, 71, 214.
18. *Effect of the Extraction Process on the Biological Activity of Lyophilized Apricot Extracts Recovered from Apricot Pomace* / Cheaib, D., El Darra, N., Rajha, H. N., El-Ghazzawi, I., Maroun, R. G., Louka, N. // *Antioxidants*, 2018, 7, 11.

References

1. Islam, T., Yu, X., Badwal, T. S., & Xu, B. (2017). Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (*Lycium barbarum*) and black goji berry (*Lycium ruthenicum*). *Chemistry Central Journal*, 11, 59 [in English].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Gokbulut, I., & Karabulut, I. (2012). SPME–GC–MS detection of volatile compounds in apricot varieties. *Food Chemistry*, 132, 1098 [in English].
3. Roussos, P. A., Sefferou, V., Denaxa, N. K., Tsantili, E., & Stathis, V. (2011). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. *Scientia Horticulturae*, 129, 472 [in English].
4. Zhang, T., Wei, X., Miao, Z., Hassan, H., Song, Y., & Fan, M. (2016). Screening for antioxidant and antibacterial activities of phenolics from Golden Delicious apple pomace. *Chemistry Central Journal*, 10, 47 [in English].
5. Chyhyrynets, O. E., Fateev, Y. F. & Vorobiova, V. I. et al. (2016). Study of the Mechanism of Action of the Isopropanol Extract of Rapeseed Oil Cake on the Atmospheric Corrosion of Copper. *Mater Sci*, 51, 644 [in English].
6. Vorobiova, V., Chyhyrynets, O. & Vasylykevych, O. (2015). Grape Pomace Extract as Green Vapor Phase Corrosion Inhibitor. *Mater. Sci.*, 50, 726 [in English].
7. Chygyrynets, E. & Vorobyova, V. (2014). A Study of Rape-Cake Extract as Eco-Friendly Vapor Phase Corrosion Inhibitor. *Chemistry & Chemical technology*, 8, 2, 235 [in English].
8. Gündoğdu, M., Kan, T., Gecer, M. K. (2013). Vitamins, Flavonoids, and Phenolic Acid Levels in Early- and Late-ripening Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Cultivars from Turkey. *HortScience*, 48, 696
9. Svarcova, I., Jan, H. & Valentova, K. (2007). Berry Fruits as a Source of Biologically Active Compounds: the Case of *Lonicera Caerulea*. *Biomedical Papers*, 151, 163 [in English].
10. Karapetyan, T. D., Mirzoyan, V. S., Hanisyan, R. M. & Sahakyan, Zh. (2011). In Vitro Antimicrobial Activity of Dried and Fresh Leaf Extracts of Old and Young Apricot Trees (*Prunus Armeniaca*). *The New Armenian Medical Journal*, 5, 44 [in English].
11. Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., & Boras, M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food chemistry*, 102, 966 [in English].
12. Melgarejo, P., Calín-Sánchez, Á., Carbonell-Barrachina, Á. A., Martínez-Nicolás, J. J., Legua, P., Martínez, R., & Hernández, F. (2014). Antioxidant activity, volatile composition and sensory profile of four new very-early apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 85 [in English].
13. Khodadadi, B., Bordbar, M. & Nasrollahzadeh, M. (2017). Green synthesis of Pd nanoparticles at Apricot kernel shell substrate using *Salvia hydrangea* extract: Catalytic activity for reduction of organic dyes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 409, 1 [in English].
14. VasileDulf, K., Vodnar, D., Dulf, E. & Pintea, A. (2017). Phenolic compounds, flavonoids, lipids and antioxidant potential of apricot (*Prunus armeniaca* L.) pomace fermented by two filamentous fungal strains in solid state system. *Chemistry Central Journal*, 11, 92 [in English].
15. Erdogan-Orhan, I. & Kartal, M. (2011). Insights into research on phytochemistry and biological activities of *Prunus armeniaca* L. (apricot). *Food Research International*, 44, 1238 [in English].
16. Solís-Solís, H. M., Calderón-Santoyo, M., Schorr-Galindo, S., Luna-Solano, G., Ragazzo-Sánchez, J. A. (2007). Characterization of aroma potential of apricot varieties using different extraction techniques. *Food chemistry*, 105, 829 [in English].
17. Lapornik, B., Prošek, M., & Wondra, A. G. (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of food engineering*, 71, 214 [in English].
18. Cheaib, D., El Darra, N., Rajha, H. N., El-Ghazzawi, I., Maroun, R. G. & Louka, N. (2018). Effect of the Extraction Process on the Biological Activity of Lyophilized Apricot Extracts Recovered from Apricot Pomace. *Antioxidants*, 7, 11 [in English].

UDC 620.197

*Victoria Vorobyova, Anastasia Shakyn, Inna Trus,
Olena Serdiuk, Volodymyr Tkachuk, Olena Chyhyrynets*

EVALUATION OF THE COMPONENT COMPOSITION BY-PRODUCTS OF APRICOT (*Prunus armeniaca* L.)

Topicality of research. The problem of deteriorating environmental situation is relevant. Therefore, the priority direction is the use of environmentally friendly products.

Formulation of the problem. To date, there is not enough scientific information about the component composition of different plants, therefore, it is necessary to find new sources for the selection of natural active compounds and the receipt of various products.

Analysis of recent research and publications. The latest open access publications, including literature on the polyphenolic composition of apricot by-products obtained by water extraction were considered.

Allocation of unexamined parts of the general problem. Information on the composition of the alcoholic extract of apricot pomace is very limited.

Setting objectives. The study characteristics of the component profiles the apricot pomace extract (*Prunus armeniaca*) depending on the solvent systems were used.

The main material. The objective of this study was to investigate a comprehensive characterization of composition profiles of the apricot pomace extract (*Prunus armeniaca* L) depending on the used solvent systems. Different solvents may need to be used to study the characteristics of various compositions of active compounds in different chemical technology. The propan-2-ol, decamethylcyclopentasiloxane and there of mixture of the apricot pomace extracts are characterized by IR, UV-visible spectroscopy and gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) techniques. The most efficient solvent for total extraction compounds from apricot pomace was mixture propan-2-ol and D5. The presence aldehydes, and terpene alcohols in the apricot pomace extracts was confirmed in this study.

Conclusions according to the article. Thus, it can be concluded that the waste of the common apricot (*Prunus armeniaca* L) is promising for its further study and for using raw materials as a source in the development of new functional products. This preliminary study gives an idea to isolate the major active constituents present in the pomace of apricot and also helps to develop biologically active compounds from raw materials.

Keywords: Apricot pomace; extract; propan-2-ol; decamethylcyclopentasiloxane; aldehydes; terpene alcohols.

Fig.: 4. **Table:** 4. **References:** 18.

Воробійова Вікторія Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Vorobyova Victoria – PhD in Technical Science, Assistant, Assistant of Physical Chemistry Department, National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: Vorobyovavika1988@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

Scopus Author ID: 55808771000

Шакун Анастасія Сергіївна – магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Shakyn Anastasia – master, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

Трус Інна Миколаївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Trus Inna – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: inna.trus.m@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

ResearcherID: I-3204-2017

Scopus Author ID: 56152219600

Ткачук Володимир Миколайович – магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Tkachuk Volodymyr – master, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

Сердюк Олена Олександрівна – магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Serdiuk Olena – master, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: freesail2014@gmail.com

Чигиринець Олена Едуардівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Chygyrynets' Olena – Doctor in Technical Science, Professor, Head of Department of Physical Chemistry, National Technical University of Ukraine National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

Вікторія Челябієва, Катерина Соседова

ВИКОРИСТАННЯ ЗАКВАСОК СПОНТАННОГО БРОДІННЯ ТА БОРОШНА БОБОВИХ КУЛЬТУР У ВИРОБНИЦТВІ ХЛІБА

Актуальність теми дослідження. Використання закваски спонтанного бродіння та борошна бобових культур дозволяє отримати хліб із високими органолептичними і фізико-хімічними показниками якості.

Постановка проблеми. Тривалість бродіння, кислотність закваски залежать від фізико-хімічних показників борошна, що потребує вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковцями вивчалися питання впливу температури виведення, вологості, співвідношення стиглої закваски та поживної суміші на показники якості закваски спонтанного бродіння, доцільність використання борошна бобових культур у виробництві пшеничного хліба.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Питання впливу якості борошна на фізико-хімічні та біохімічні процеси під час виведення закваски спонтанного бродіння не висвітлене.

Постановка завдання. Досліджено вплив фізико-хімічних показників житнього обдирного борошна на біотехнологічні процеси закваски спонтанного бродіння; вивчено вплив використання борошна сочевиці в рецептурі житньо-пшеничного хліба на харчову цінність та якість готового виробу.

Виклад основного матеріалу. Готували густі закваски вологістю 48–50 % з різного житнього обдирного борошна. На виведеній заквасці проводили випічку подового житньо-пшеничного хліба без додавання та з додаванням борошна сочевиці. Житньо-пшеничний хліб як із додаванням борошна сочевиці, так і без нього мав дуже приємний м'який смак, злегка кислуватий, не прісний, не пересолений, без хрусту. Запах обох видів хліба не сильний, відповідав даному виду виробу.

Висновки відповідно до статті. Фізико-хімічні показники якості борошна – вологість, зольність, автолітична активність – впливають на накопичення і розвиток активної мікрофлори спонтанних заквасок.

Комплексне використання пшеничного цілнозернового та сочевичного борошна в рецептурі житньо-пшеничних сортів хліба дозволяє отримати вироби з високими показниками якості, споживчими властивостями та покращеною харчовою цінністю.

Ключові слова: закваска; спонтанне бродіння; борошно сочевиці; житньо-пшеничний хліб.

Табл.: 2. Рис.: 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Сьогодні майже втрачені традиції хлібопечення, які існували до радянських часів. Невеликі приватні пекарні були витіснені потужними хлібо-заводами, завданням яких було без перебою кожного дня забезпечувати хлібом велику кількість населення. Тоді стало необхідним прискорити технологію виготовлення хлібу, тому широко почали використовувати хлібопекарські дріжджі. Дріжджі – це один вид мікроорганізмів, а закваска містить дріжджі та молочнокислі бактерії. При використанні закваски хліб не можна було приготувати зі зіпсованого борошна, він би не тримав форму. А дріжджі дозволяли випікати хліб навіть із неякісного борошна, тому технологія випікання хліба із застосуванням хлібопекарських дріжджів була дуже актуальна у воєнні, післявоєнні роки, у період економічних криз. Але сьогодні змінились умови життя та потреби населення. Хліб, випечений із застосуванням закваски, користується попитом. Він довше зберігається, має меншу крихкість. Під час тривалого виброджування у заквасці накопичуються речовини, які зумовлюють чудовий неповторний смак і запах готового виробу.

Хлібобулочним виробам, виготовленим із житнього борошна, відводиться важливе місце в харчуванні людини. При збалансованому раціоні денна норма житнього хліба повинна становити сто грамів. Житнє борошно містить більше цінних амінокислот, фруктози, клітковини, вітамінів (особливо групи В) і мінеральні речовини, ніж сортове пшеничне борошно. Підвищити харчову цінність житнього і житньо-пшеничного хліба можна шляхом додавання борошна бобових культур, наприклад, сочевиці. Переваги борошна бобових культур у значно вищому вмісті білку і мінеральних речовин.

Зважаючи на це, актуальним є вивчення особливостей виготовлення житньо-пшеничних сортів хліба з додаванням борошна бобових культур на заквасках спонтанного бродіння [1; 2].

Постановка проблеми. Виведення біологічних заквасок спонтанного бродіння пов'язано з певними фізико-хімічними, біохімічними та мікробіологічними процесами, швидкість і характер яких залежить від різних параметрів: тривалості й температури

бродіння, кислотності напівфабрикату [3]. Зазначені параметри, у свою чергу, залежать від фізико-хімічних показників борошна, і ця залежність потребує детального вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авторами роботи [4] доведено, що найкращі показники якості закваски спонтанного бродіння вологістю 48–50 %, цикл розведення якої тривав 60 год, забезпечуються при співвідношенні у виробничому циклі стиглої закваски та поживної суміші 1:1. Закваски спонтанного бродіння з вологістю 49 % дають змогу отримати як напівфабрикати, так і готові вироби з достатньо високими та стабільними якісними показниками [5]. У роботі [6] досліджений вплив кількості закваски, внесеної в тісто, на якість готових виробів. Закваску додавали в тісто в кількості 35, 40 та 45 % до маси борошна в тісті. Кислотність закваски становила 13 град., підйомна сила – 19 хв. За результатами досліджень встановлено, що кислотність тіста зростає зі збільшенням кількості внесеної закваски. При цьому тривалість вистоювання напівфабрикатів із збільшенням закваски зменшувалась на 5-10 хв. Найкращі значення питомого об'єму та пористості спостерігалися в зразках хліба, виготовлених із внесенням 45 % закваски до маси борошна. При цьому із закваскою в тісто вносилося 27 % борошна, що сприяло скороченню тривалості вистоювання виробів порівняно з іншими зразками тіста.

Авторами [7; 8] показано, що використання добавок борошна бобових культур дозволяє отримати пшеничний хліб із борошна вищого і першого сортів із високими споживчими властивостями й поліпшеною харчовою цінністю. Встановлено, що борошно горохове, квасолеве, сочевичне, люпинове значно перевершують пшеничне борошно вищого і першого сортів за певними компонентами: за змістом білку – в 2,2-3,2 раза; цукрів – в 5,3-26,2 раза; клітковини – в 19-72 раза; золи в – 3,7-6,6 раза, лише вміст крохмалю в борошні бобових культур у 1,5-3,8 раза нижче, ніж у пшеничному.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що науковцями вивчались питання впливу температури виведення, вологості, співвідношення стиглої закваски та поживної суміші на показники якості біологічної закваски спонтанного бродіння, але залишається не висвітленим питання впливу якості борошна на фізико-хімічні та біохімічні процеси під час виведення закваски спонтанного бродіння. Також у літературі висвітлено питання про доцільність використання борошна бобових культур у виробництві пшеничного хліба, але не розглянуті перспективи використання сочевичного борошна у виробництві житньо-пшеничного хліба.

Постановка завдання. У статті досліджено вплив фізико-хімічних показників житнього обдирного борошна на біотехнологічні показники закваски спонтанного бродіння; вивчено вплив використання борошна сочевиці в рецептурі житньо-пшеничного хліба на харчову цінність та якість готового виробу.

Виклад основного матеріалу. Для приготування закваски спонтанного бродіння використовували борошно житнє обдирне з торговельної мережі двох різних виробників. Борошно житнє обдирне № 1 характеризувалось такими фізико-хімічними показниками: вологість – 2,00 % (ДСТУ ISO 712:2015), зольність – 1,00 % (ДСТУ ISO 2171:2009), автолітична активність – 40,78 % (ГОСТ 27495-87). Борошно житнє обдирне № 2: вологість – 11,00 %, зольність – 0,92 %, автолітична активність – 44,91 %. Готували густі закваски вологістю 48–50 %. Зазвичай при приготуванні густих заквасок керуються тим [4], що вологість борошна житнього обдирного не повинна перевищувати 15 % (ДСТУ-П 4583:2006), тобто для приготування закваски вологістю 50% необхідно взяти, наприклад, на 50 г борошна 35 г води. Однак фактично борошно №1 має вологість лише 2%, а борошно №2 – 11 %. Спочатку в дослідженнях не враховували істинну вологість борошна і готували закваски змішуванням 50 г борошна і 35 г води. Закваски поміщали в термостат для бродіння при температурі 28 °С. Через 24 години закваски поновлювали, шляхом змішування закваски попереднього приготування (85 г), борошна (50 г) і води

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

(35 г). Через 48 год маса закваски попереднього приготування відповідно становила 170 г, додавали борошно 100 г і води 70 г. При використанні такої схеми, суміш, приготована з борошна № 1 через 24 год. майже не проявляла ознак бродіння, суміш з борошна № 2 поведилась більш активно. Через 72 год. кислотність закваски з борошна № 1 становила 3,5 °Н, з борошна № 2 – 7,5 °Н. Для подальших досліджень була застосована схема виведення спонтанної закваски (табл. 1), яку запропонував Луц Гейслер (Lutz Geibler) – відомий німецький пекар-практик [9].

Таблиця 1

Послідовність виведення закваски спонтанного бродіння, (t = 26-28 °С)

Борошно житнє обдирне № 1		Борошно житнє обдирне № 2	
Стадія	Біотехнологічні показники	Стадія	Біотехнологічні показники
1. Змішували: борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 1: кислотність, °Н – 6,4 підйомна сила, хв – відсутня	1. Змішували: борошно, г – 50, вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 1: кислотність, °Н – 8,0 підйомна сила, хв – відсутня
2. Через 24 год після замісу додаємо: борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 2: кислотність, °Н – 8,0 підйомна сила, хв – відсутня	2. Через 24 год після замісу додаємо: борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 2: кислотність, °Н – 10,5 підйомна сила, хв – відсутня
3. Через 48 год після замісу додаємо: борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 3: кислотність, °Н – 8,5 підйомна сила, хв – 50	3. Через 48 год після замісу додаємо: борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 3: кислотність, °Н – 22,0 підйомна сила, хв – відсутня
4. Через 72 год після замісу: беремо закваски попереднього бродіння, г – 50 борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 4: кислотність, °Н – 13,0 підйомна сила, хв – 46	4. Через 72 год після замісу беремо закваски попереднього бродіння, г – 50 борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 4: кислотність, °Н – 16,0 підйомна сила, хв – 30
5. Через 96 год після замісу: беремо закваски попереднього бродіння, г – 50 борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 5: кислотність, °Н – 13,0 підйомна сила, хв – відсутня	5. Через 96 год після замісу беремо закваски попереднього бродіння, г – 50 борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 5: кислотність, °Н – 12,0 підйомна сила, хв – 28
6. Через 120 год після замісу: беремо закваски попереднього бродіння, г – 50 борошно, г – 50 вода, г – 80	Через 24 год бродіння на цій стадії 6: кислотність, °Н – 11,4 підйомна сила, хв – 55	6. Через 120 год після замісу беремо закваски попереднього бродіння, г – 50 борошно, г – 50 вода, г – 50	Через 24 год бродіння на стадії 6: кислотність, °Н – 8,0 підйомна сила, хв – 28

Підйомну силу, титровану кислотність спонтанних заквасок, масову частку вологи, кислотність, пористість, упікання, усихання готових виробів визначали за загальноприйнятими методиками [10], масову частку білкових речовин у готовому виробі визначали біуретовим методом.

Відповідно до запропонованої Луцем Гейслером схеми виведення спонтанної закваски волога, яку містить борошно, не враховується, а суміш для закваски готують змішуванням борошна й води в рівних масових частинах (табл. 1). Протягом всього часу виведення закваски співвідношення борошна й води в суміші залишалось постійним і становило 1:1.

У перші три доби (стадія 1-3, табл. 1) у заквасці активно розвивається молочнокисла мікрофлора. У суміші з борошна № 2 через 72 год кислотність у 2,5 раза вища, ніж борошна № 1. У суміші з борошна №1 підйомна сила (визначалась за спливанням кульки) зафіксована через 72 год від початку бродіння, протягом 4, 5, 6-ї стадії бродіння підйомна сила коливалась у межах 46-55 хв і більше не зростала. На 6-у добу виведення закваски з борошна № 1 підйомна сила взагалі не фіксувалась. Закваска мала дуже густу консистенцію, що очевидно вплинуло на біотехнологічні процеси в суміші, тому під час оновлення цієї закваски через 120 год після замісу, була збільшена кількість доданої води з 50 г (відповідно до схеми Гейслера) до 80 г. Через 24 год після такого оновлення підйомна сила стаговила 55 хв, кислотність закваски при цьому зменшилась майже на 2 °Н. Дозуванням поживних речовин – борошна й води – регулюють кислотність закваски. При збільшенні дозування борошна кислотність зростає, при збільшенні води – зменшується. Суміш із борошна № 2 поводитись стабільно протягом усього часу виведення, після проведення кожного оновлення через 72, 96 і 120 год відповідно, початкова кислотність знижувалась на 6 °Н, а підйомна сила залишалась не змінною і становила 28-30 хв.

Біотехнологічні процеси в заквасці визначаються мікрофлорою. У густих житніх заквасках переважають гетероферментативні молочнокислі бактерії (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*) [3; 4; 5], які утворюють до 72 % молочної кислоти і 21 % летких кислот (переважно оцтову), газ (переважно діоксид вуглецю) і незначну кількість спирту. Специфічними є для житнього борошна дріжджі *Saccharomyces minor*. Оптимальна температура їх розвитку 25–28 °С. Вони відрізняються кислотостійкістю, не вимогливі до джерел вітамінного та азотного харчування, спиртостійкі.

Підйомна сила закваски на борошні № 1 майже удвічі нижча, ніж на борошні № 2. Отже, процеси газотворення перебігають значно повільніше, що зумовлено нижчою активністю мікрофлори. Відмінність у активності мікрофлори можна пояснити вихідними характеристиками борошна. Автолітична активність борошна № 2 на 4 % вища від борошна № 1, а значить у процесі бродіння у водно-борошняній суспензії більша кількість сухих речовин перейде у водорозчинний стан і буде використовуватись, як поживне середовище мікрофлорою. Зольність борошна №1 вища, а значить у ньому міститься більше макро- та мікроелементів, однак автолітична активність борошна № 1 на 4 %, а вологість на 9 % нижчі. Це створює дефіцит поживних речовин, адже менша їх кількість перейде у водорозчинний стан і може бути використана для живлення корисною біотою.

Таким чином, автолітична активність і вологість борошна, використаного для розведення закваски спонтанного бродіння, визначають її біотехнологічні показники.

Під час тривалого бродіння, яке було застосоване при виведенні закваски, повністю витісняється неспецифічна мікрофлора житнього борошна. Отримана закваска мала дуже приємний, м'яко виражений кисло-спиртовий запах.

На виведеній заквасці проводили випічку подового житньо-пшеничного хліба без додавання та з додаванням борошна сочевиці. Показники якості випеченого хліба з використанням заквасок спонтанного бродіння наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Показники якості хліба з використанням заквасок спонтанного бродіння

Найменування показника	Хліб житньо-пшеничний (співвідношення житнього та пшеничного цільнозернового борошна у тісті 2,5:1)	Хліб житньо-пшеничний із додаванням борошна сочевиці (співвідношення житнього, пшеничного цільнозернового борошна та борошна сочевиці у тісті 2,5:1,5:1)
Вологість м'якушки, %	42,0	41,6
Кислотність м'якушки, °Н	6,8	7,0
Пористість м'якушки, %	46,2	44,0
Упікання, %	11,9	14,1
Усихання, %	2,7	0,6
Вміст білку, г/100 г	7,2	9,3

Форма, поверхня, колір, стан м'якушки представлені на рисунку.

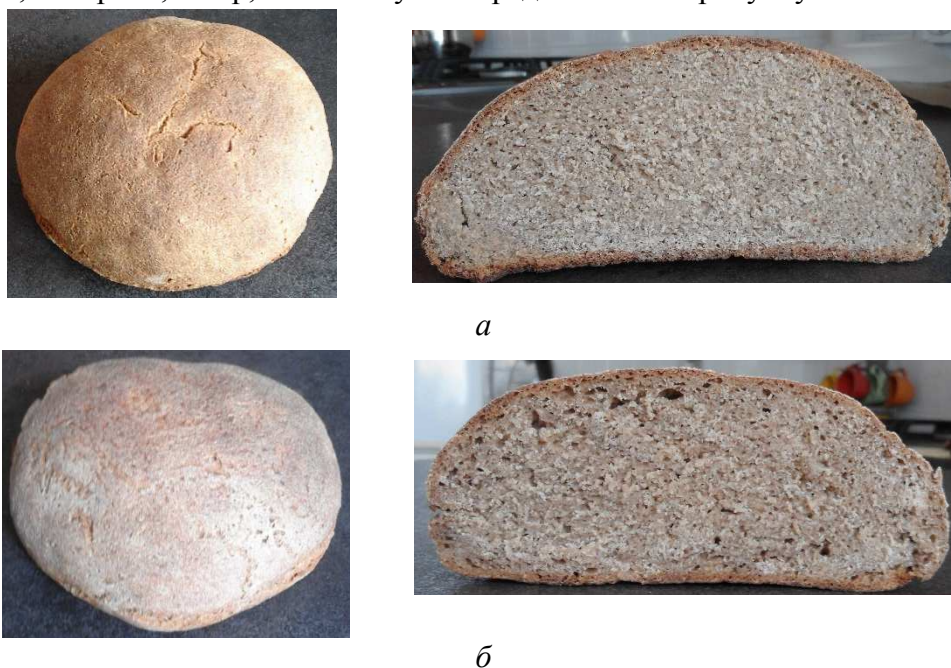


Рис. Зовнішній вигляд та вид м'якушки хліба житньо-пшеничного з добавкою борошна сочевиці (а) та без добавки (б)

Хліб випікали на заквасці як із борошна № 1, так і з борошна № 2. Показники якості готових виробів при цьому суттєво не відрізнялись. Для виготовлення хліба використовували сировину: воду питну, сіль, борошно житнє обдирне, борошно пшеничне цільнозернове, борошно сочевиці. Борошно пшеничне цільнозернове має детоксикаційні та радіопротекторні властивості, рекомендується для профілактики ожиріння, поліпшення моторики шлунково-кишкового тракту тощо. Сочевиця – одна з найдавніших сільськогосподарських культур. Основна перевага борошна сочевиці полягає в більш високому вмісті білку та мінеральних речовин, порівняно з борошном злакових культур. Протягом тисячоліть сочевичні зерна для багатьох народів були найважливішим джерелом рослинного білку, необхідного для нормальної роботи організму.

Фізико-хімічні показники якості готових виробів (табл. 2) відповідають вимогам ДСТУ-П 4583:2006. При додаванні борошна сочевиці на 2 г збільшується вміст білку в 100 г готового виробу.

Житньо-пшеничний хліб як із додаванням борошна сочевиці, так і без нього мав дуже приємний м'який смак, злегка кислуватий, не прісний, не пересолений, без хрусту. Житньо-пшеничний хліб із додаванням борошна сочевиці мав легкий її присмак. Запах обох видів хліба не сильний, відповідав цьому виду виробу.

Висновки відповідно до статті. Простим способом приготування із житнього обдирного борошна заквасок спонтанного бродіння є змішування борошна й води у співвідношенні за масою 1:1 з подальшим оновленням, де співвідношення стиглої закваски, борошна і води за масою становить 1:1:1.

Фізико-хімічні показники якості борошна – вологість, зольність, автолітична активність – впливають на накопичення і розвиток активної мікрофлори спонтанних заквасок.

Комплексне використання пшеничного цільнозернового та сочевичного борошна в рецептурі житньо-пшеничних сортів хліба дозволяє отримати вироби з високими показниками якості, споживчими властивостями та покращеною харчовою цінністю.

Цільнозернове борошно пшениці, борошно бобових культур має підвищений вміст незамінних амінокислот, харчових волокон, мінеральних речовин, вітамінів. Житньо-

пшеничний хліб із цільнозернового борошна пшениці з додаванням борошна сочевиці можна рекомендувати для раціону людей, які проживають на екологічно забруднених територіях, а також з оздоровчою метою іншим верствам населення.

Список використаних джерел

1. Пшенишнюк Г. Ф. Закваски спонтанного бродіння в технології житнього хліба / Г. Ф. Пшенишнюк, С. М. Павловський, Ю. С. Ковпак // Наукові праці ОНАХТ. – 2011. – Вип. 40, т. 1. – С. 141–145.
2. Легков И. С. Использование заквасок спонтанного брожения при производстве ржаного хлеба / И. С. Легков, И. У. Кусова, Г. Г. Дубцов // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2010. – № 3-4. – С. 24–25.
3. Исследование изменения кислотности в закваске спонтанного брожения / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, А. А. Журавлев, И. А. Журавлева // Вестник ВГУИТ. – 2013. – № 3. – С. 82–84.
4. Сильчук Т. А. Дослідження біотехнологічних властивостей тістових напівфабрикатів / Т. А. Сильчук, В. І. Дробот // Наукові праці НУХТ. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 211–215.
5. Пшенишнюк Г. Ф. Вплив житніх заквасок спонтанного бродіння на кінетику кислотонакопичення в тісті та якість хліба / Г. Ф. Пшенишнюк, Ю. С. Ковпак // Харчова наука і технологія. – 2011. – № 1 (14). – С. 43–46.
6. Дробот В. І. Використання закваски спонтанного бродіння при виробництві житньо-пшеничного хліба / В. І. Дробот, Т. А. Сильчук // Наукові праці НУХТ. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 180–184.
7. Батурина Н. А. Влияние добавок муки бобовых культур на потребительские свойства и пищевую ценность пшеничного хлеба / Н. А. Батурина // Индустрия хлебопечения. – 2012. – № 4 (13). – С. 38–41.
8. Батурина Н. А. Потребительские свойства и пищевая ценность пшеничного хлеба с добавками муки бобовых культур / Н. А. Батурина, Р. С. Музалевская, Л. А. Пашкевич // Вестник Орел ГИЭТ – 2013. – № 1 (23). – С. 153–159.
9. Lutz G. Brot. – Berlin : Warenkunde, 2016. – 200 p.
10. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв : навчальний посібник / за ред. В. І. Дробот. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 341 с.

References

1. Pshenyshniuk, G. F., Pavlovskiy, S. M. & Kovpak, Yu. S. (2011). Zakvasky spontannoho brodinna v tekhnolohii zhytnoho khliba [Spontaneous fermentation in rye bread technology]. *Naukovi praci ONAXT – Scientific works of ONAFT*, 40 (1), 141-145 [in Ukrainian].
2. Lechkov, I. S., Kusova, I. U. & Dubtsov, G. G. (2010). Ispolzovanie zakvasok spontannogo brozheniya pri proizvodstve rzhanogo hleba [Use of spontaneous ferment cultures in the production of rye bread]. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo – Confectionery and bakery production*, 3-4, 24-25 [in Russian].
3. Ponomareva, E. I., Alehina, N. N., Zhuravlev, A. A. & Zhuravleva, I. A. (2013). Issledovanie izmeneniia kislotnosti v zakvaske spontannogo brozheniia [Investigation of the change in acidity in the spontaneous fermentation]. *Vestnik VGUIT – Bulletin of VSUET*, 3, 82-84 [in Russian].
4. Sylchuk, T. A. & Drobot, V. I. (2017). Doslidzhennia biotekhnolohichnykh vlastyvostei tistovykh napivfabrykativ [Research of biotechnologic properties of dough semi-finished products]. *Naukovi pratsi NUXT – Scientific works of NUFT*, 23 (1), 211-215 [in Ukrainian].
5. Pshenyshniuk G.F. & Kovpak Yu.S. (2011). Zakvasky spontannoho brodinna v tekhnolohii zhytnoho khliba [Influence of spontaneous fermentation on kinetics of acid accumulation in dough and quality of bread]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia – Food Science and Technology*, 1 (14), 43-46 [in Ukrainian].
6. Drobot V. I. & Sylchuk T. A. (2016). Vykorystannia zakvasky spontannoho brodinna pry vyrobnytvstvi zhytno-pshenychnoho khliba [Using spontaneous fermentation sourdough in the production of rye-wheat bread]. *Naukovi pratsi NUXT – Scientific works of NUFT*, 22 (1), 180-184 [in Ukrainian].
7. Baturina, N. A. (2012). Vliyanie dobavok muki bobovykh kultur na potrebitelskie svoystva i pishhevuyu cennost pshenichnogo hleba [Influence of additives of a flour of legumes on consumer properties and nutritional value of wheat bread]. *Industriia khlebopecheniia – Baking Industry*, 4 (13), 38-41 [in Russian].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Baturina, N. A., Muzalevskaya, R. S. & Pashkevich, L. A. (2013). Potrebitelskie svoystva i pishhevaya cennost pshenichnogo hleba s dobavkami muki bobovyh kultur [Consumer properties and nutritional value of wheat bread with additives of legume flour]. *Vestnik OGIET – Bulletin of Eagle GIET*, 1 (23), 153-159 [in Russian].

9. Lutz, G. (2016) Brot. Berlin: Warenkunde.

10. Drobot, V. I. (Ed.). (2006). *Laboratornyi praktykum z tekhnolohii khlibopekarskoho ta makaronnoho vyrobnytstv [Laboratory Workshop on Bakery and Macaroni Technology]*. Kyiv: CEL [in Ukrainian].

UDC 664.653.8

Victoria Cheliabiieva, Ekaterina Sosedova

USING OF LEAVEN OF SPONTANEOUS FERMENTATION AND OF FLOUR LEGUMINOUS IN BREAD PRODUCTION

Urgency of the research. The use of spontaneous fermentation and flour of leguminous crops makes it possible to obtain products with high organoleptic and physicochemical quality indicators.

Target setting. The fermentation time and acidity depends on the physicochemical parameters of the flour, which requires additional study.

Analysis of recent research and publications. The literature studied the influence of temperature, humidity, the ratio of ripe leaven and nutritional mixture on the quality of spontaneous fermentation, the expediency of using flour of legumes in the production of wheat bread.

Uninvestigated parts of general matters defining. The question of the influence of flour quality on physicochemical and biochemical processes of the leaven of spontaneous fermentation is not sufficiently studied.

The research objective. Studied of the influence of physicochemical parameters of rye flaked flour on the biotechnological processes of the leaven of spontaneous fermentation, of the influence of lentil flour in the rye-wheat bread on the nutritional value and quality of the finished product has been studied.

The statement of basic materials. We're preparing of the leaven with a moisture content of 48-50%, from of the rye flour with different physicochemical parameters. On this leaven bake of rye-wheat bread without was added and with the addition of lentil flour. Rye-wheat bread it had a pleasant mild, slightly sour taste, not unleavened, not over-salted, without a crunch.

Conclusions. Physicochemical indicators of flour quality – moisture, ash content, autolytic activity - affect the accumulation and development of active microflora of the leaven spontaneous fermentation.

The integrated use of wheat whole-grain and lentil flour in rye-wheat bread makes it possible to obtain products with high quality indicators, consumer properties and improved nutritional value.

Keywords: leaven; spontaneous fermentation; flour of lentils; rye-wheat bread.

Table: 2. Fig.: 1. References: 10.

Челябієва Вікторія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Cheliabiieva Viktoriia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vika.chl@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5364-4633>

ResearcherID: F-7305-2014

Scopus Author ID: 6505851894

Соседова Катерина Юрївна – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sosedova Ekaterina – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: yurevnasosedova@gmail.com

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-258-268

Сергій Крячок, Юлія Щербак, Людмила Мамонтова

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛЮСНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ НА ПРИАЕРОДРОМНІЙ ТЕРИТОРІЇ

Актуальність теми дослідження. В Україні прийнято Державну цільову програму розвитку аеропортів на період до 2023 року. Метою Програми є розвиток авіаційного транспорту, узгодження його з міжнародними вимогами та створення умов для набуття Україною статусу транзитної держави.

Постановка проблеми. До зони відповідальності аеропортів за безпеку авіаційних перевезень належить приаеродромна територія. Для аеропортів цивільної авіації необхідно мати електронні бази даних стосовно ландшафту і перешкод (висотні об'єкти) в межах аеродрому та приаеродромної території, які повинні бути координатноорієнтованими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені висвітленню геодезичних методів із визначення планових координат та відміток висотних об'єктів на приаеродромній території, серед яких виділено полюсний метод.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Полюсний метод має за своєю побудовою потенційні можливості для визначення планових координат та відміток висотних об'єктів. Крім того, визначення координат пунктів дає можливість виконувати геодезичний супровід на приаеродромній території кадастрових робіт із метою оперативного внесення змін і доповнень про межі земельних ділянок, їх координати та площу.

Мета статті. Головною метою цієї статті є обґрунтування застосування комбінованого методу з використанням GPS-спостережень та полюсної системи для визначення координат межових знаків, обчислення площ земельних ділянок, визначення координат і відміток висотних споруд на приаеродромній території.

Виклад основного матеріалу. Показано геометричну сутність відомої полюсної побудови у вигляді мережі трикутників з визначеним базисом, вершини яких сходяться в одній точці – полюсі, з вимірними у кожному трикутнику по два горизонтальних кути. Наведено теоретичну основу та алгоритм розрахунку координат пунктів. Запропоновано обчислювати планові координати полюса – точки знаходження висотної споруди і вимірювати разом із горизонтальними кутами вертикальні кути тих же напрямків. Це дає змогу обчислити відмітку верхньої точки висотної споруди. На конкретному прикладі показано застосування полюсного методу для визначення планових координат меж земельного масиву, обчислення його площі та визначення планових координат і відмітки верхи висотної споруди, розміщеної на території масиву.

Висновки відповідно до статті. Запропоновано під час геодезичного супроводу кадастрових робіт на приаеродромній території разом із визначенням координат меж земельних ділянок та площі виконувати визначення координат та відміток висотних споруд, розташованих на їхніх територіях, з використанням полюсного методу – для створення координатноорієнтованої електронної бази даних висотних перешкод у районі аеропорту.

Ключові слова: приаеродромна територія; електронна база даних про перешкоди; визначення площ; кадастрові роботи.

Рис.: 2. Табл.: 5. Бібл.: 16.

Актуальність теми дослідження. В Україні прийнято Державну цільову програму розвитку аеропортів на період до 2023 року. Метою Програми є розвиток авіаційного транспорту, приведення його до міжнародних вимог та створення умов для набуття Україною статусу транзитної держави [1].

Постановка проблеми. До зони відповідальності аеропортів за безпеку авіаційних перевезень належить прилегла до них приаеродромна територія [2]. Згідно з рекомендацією Комісії Євроконтроля [3] необхідно мати для аеропортів цивільної авіації електронні бази даних стосовно ландшафту і перешкод (висотні об'єкти) в межах аеродрому та приаеродромної території, які повинні бути координатно орієнтованими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До сучасних методів визначення координат і відміток (висот) висотних об'єктів належить лідарне аерознімання. Його перевагами перед наземними методами є можливість проведення знімання на великих територіях, представлення у цифровій формі великого обсягу інформації, значна роздільна здатність у виявленні висотних об'єктів [4]. Лідарний комплекс повітряного базування містить, як правило, такі основні компоненти; GPS-приймач, бортовий лазерний сканер, інерційну навігаційну систему, цифрову камеру, блок управління та контролю,

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

безперебійний блок живлення [5]. Зрозуміло, що таке обладнання має значну вартість, як і його програмне забезпечення, що в підсумку відбивається на значній вартості результатів лідарного аерознімання.

Значно дешевшими і такими, що знайшли значне поширення в Україні, є оптичні теодоліти, електронні тахеометри, GPS-приймачі. Для визначення планових координат висотних об'єктів у реальному часі застосовуються ГНСС-технології, складовими яких є GPS-приймачі [6-8]. Але в окремих випадках прийом сигналів від GPS-супутників може бути неякісним через рельєф, висотні споруди, у лісистій місцевості, наявності поблизу GPS-приймачів високовольтних ліній електропередач. Тому для визначення планових координат у таких випадках застосовуються комбіновані методи з використанням ГНСС-технологій та класичних наземних методів геодезії [9–10].

Найбільш розповсюдженим класичним наземним методом визначення планових координат є полігонометрія, аналогом якої є теодолітні ходи. Нині вони удосконалені використанням електронних тахеометрів, які дозволяють досить швидко та з необхідною точністю вимірювати горизонтальні та вертикальні кути, відстані між пунктами та надавати інформацію для подальшого опрацювання в електронному вигляді. Удосконалюється і методика виконання вимірювань [11–12].

Разом із прокладанням теодолітних чи полігонометричних ходів від пунктів із відомими координатами до висотних об'єктів може виконуватись і визначення відміток цих об'єктів методом тригонометричного нівелювання [13].

Планові координати пунктів можна визначити і при застосуванні полюсного методу, який містить у собі ознаки полігонометрії, триангуляції та способу засічок [14]. На відміну від полігонометрії полюсний метод, крім вимірювання горизонтальних кутів, потребує визначення довжини лише однієї лінії, що дозволяє зменшити час на проведення польових робіт із вимірювання відстаней. Цей метод ефективний в умовах важкодоступної території, де прийом сигналів від GPS-супутників неможливий.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Особливістю полюсного методу є те, що для виконання кутових вимірювань необхідно мати якийсь висотний об'єкт (хрест церкви, заводську трубу, телевізійну чи радіоантену, антену стільникового зв'язку, опору ЛЕП), що потенційно уможливіє визначення координат та відмітки висотної споруди. Крім того, визначення координат пунктів дає можливість виконувати геодезичний супровід кадастрових робіт на приаеродромній території – процесу динамічного, який передбачає оперативне внесення змін і доповнень про межі земельних ділянок, їх координати та площу [15].

Мета статті. Головною метою цієї статті є застосування комбінованого методу з використанням GPS-спостережень та лінійно-кутової мережі у вигляді полюсної системи для визначення координат межових знаків, обчислення площ земельних ділянок та визначення координат і відміток висотних споруд на приаеродромній території.

Виклад основного матеріалу. Визначення площ при здійсненні земельних правовідносин несе в собі не лише теоретичну й математичну сутність, але й має практичне значення. Застосування полюсного методу для визначення площ земельних ділянок (рис. 1) використовується для фігури, обмеженої довільною замкнутою ламаною лінією [14]. Центром мережі є полюс P . У мережі вимірюють базиси a та b , а також кути $A_1, B_1, A_2, B_2, \dots, A_N, B_N$ і горизонтального кута γ між напрямками $P-N$ та $P-1$. За відомими координатами початкового пункту і дирекційним кутом одного напрямку можна визначити координати всіх пунктів у мережі. Для цього необхідно на початку за теоремою синусів обчислити довжини сторін трикутників і визначити дирекційні кути сторін ходової лінії між пунктами: $P, 1, 2, 3, \dots, N, P$ мережі. Координати точок мережі розраховують за ходовою лінією, як у замкнутому теодолітному ході, або за формулами Юнга [14].

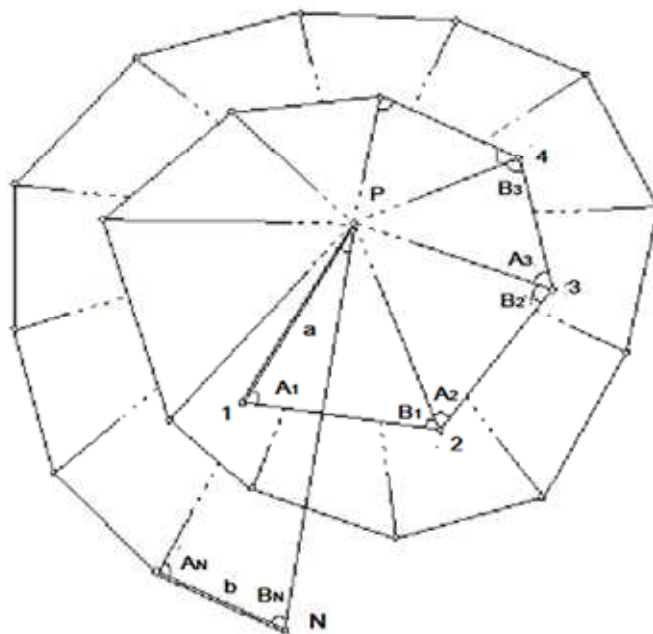


Рис. 1. Схема полюсної мережі

Для побудови планової геодезичної мережі полюсним методом необхідно на місцевості мати полюс P (хрест церкви, блискавковідвід заводської труби, телевізійна (радіо) антена, антена стільникового зв'язку, опора ЛЕП та інші висотні споруди), але відстань від точок ходової лінії до полюса не повинна бути більшою за 2 км [14]. Після цього закріплюють пункти за ходовою лінією мережі так, щоб була видимість на задню та передню точки і полюс та щоб вимірні кути не перевищували 150° та не були меншими 30° [14]. Схема полюсної мережі залежить від умов місцевості [14].

Аналіз відомих методів побудови планової геодезичної мережі дозволяє зробити такі висновки [14]:

1) перевагою полігонометрії є те, що ходи прокладають по зручному маршруту, але необхідно виконувати вимірювання всіх довжин ліній між пунктами мережі;

2) перевагою триангуляції є те, що її побудова не потребує лінійні вимірювання за винятком однієї чи кількох базисних сторін, а недолік її в тому, що в кожному трикутнику потрібно вимірювати три кути і на більшості пунктів доводиться вимірювати більше трьох напрямків.

У полюсному методі об'єднано позитивні особливості вказаних методів [14]:

1) від полігонометрії – принцип ходової лінії, що прокладається по зручному маршруту з урахуванням існуючих фізико-географічних умов;

2) від триангуляції – принцип передачі довжин сторін за ходовою лінією, користуючись теоремою синусів – без вимірювання в польових умовах;

3) від засічок – вимірювання двох кутів на кожній стороні ходової лінії.

Послідовність камеральної обробки польових результатів полюсної мережі наступна [14]:

1. Обчислюють суму вимірних кутів

$$\sum \beta_{np} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n, \quad (1)$$

де β – вимірні горизонтальні кути на пунктах ходової лінії між напрямками на полюс та наступний пункт ходової лінії.

2. Визначають суму теоретичних кутів:

а) якщо полюсна мережа має вигляд центральної системи

$$\sum \beta_m = 180^\circ (n - 2); \quad (2)$$

б) для випадку, коли ходова лінія має більше одного витка навколо полюса

$$\sum \beta_m = 360^\circ \left(\frac{n}{2} - k - 1 \right), \tag{3}$$

де n – кількість точок у полюсній мережі, включаючи полюс; k – кількість повних обертів навколо полюса.

3. Розраховують кутову нев'язку

$$f_\beta = \sum \beta_{np} - \sum \beta_m. \tag{4}$$

4. Визначають допустиму кутову нев'язку

$$\text{доп.} f_\beta = 2m_\beta \sqrt{n}, \tag{5}$$

де m_β – середня квадратична похибка вимірювання кута.

Якщо $f_\beta \leq \text{доп.} f_\beta$, то обчислюють поправку в кожний вимірний кут за формулою

$$v_\beta = -\frac{f_\beta}{n}. \tag{6}$$

Маючи виправлені кутами та відомий базис, обчислюють сторони за теоремою синусів і визначають дирекційні кути ходової лінії.

Нехай на приаеродромній території потрібно визначити координати меж, площу земельного масиву садово-городнього товариства та відмітку водонапірної башти, розташованої всередині масиву (рис. 2).

На кутах садово-городнього товариства було закладено межові знаки, позначені на плані цифрами 1, 2, 3, 4.

На пунктах 1 та 2 були виконані спостереження з використанням GPS-приймача та визначені висоти і прямокутні координати цих пунктів у системі координат УСК 2000. На пунктах 3 та 4 такі спостереження давали нестабільні результати, оскільки північна частина земельного масиву межувала з сосновим лісом із висотою дерев близько 25 м (рис. 2), що приводило до багатопроменевості сигналу від супутників GPS та створенню додаткових завад. Оскільки всередині земельного масиву розташовувалась водонапірна башта з блискавковідводом, то доцільно використати саме полюсний метод, обравши блискавковідвід за полюс, який позначено на рис. 2 цифрою 5.



Рис. 2. План садово-городнього товариства

У підсумку було утворено полюсну мережу, показану на рис. 3.

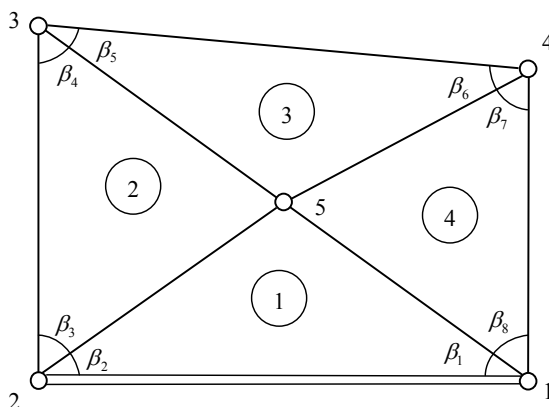


Рис. 3. Схема полюсної мережі

Довжину базису b визначено за формулою

$$b = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \tag{7}$$

а дирекційний кут напрямку 1-2 за формулою

$$\alpha_{12} = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right), \tag{8}$$

де x_1, y_1 – координати точки 1; x_2, y_2 – координати точки 2, визначені GPS-методом. Кути β_i було виміряно оптичним теодолітом ЗТ5КП.

Результати зрівнювання полюсної мережі за формулами, наведеними вище, показані в табл. 1.

Таблиця 1

Зрівнювання трикутників полюсної мережі

№ трикутників	№ кутів	Виміряні кути			Поправка V	Виправлені кути			Синуси кутів	Сторони	Назва сторони
		°	'	''		°	'	''			
1	1	35	34	09	-2	35	34	07	0,5816774	221,726	d_{25}
	2	35	17	59	-2	35	17	57	0,5778458	220,265	d_{15}
	1+2					70	52	04	0,9447647	360,129	b
2	3	54	34	13	-2	54	34	11	0,8148216	224,784	d_{35}
	4	53	29	20	-2	53	29	18	0,8037357	221,726	d_{25}
	3+4					108	03	29	0,9507429	262,281	d_{23}
3	5	33	18	13	-2	33	18	11	0,5490674	211,965	d_{45}
	6	35	36	40	-2	35	36	38	0,5822728	224,784	d_{35}
	5+6					68	54	49	0,9330390	360,196	d_{34}
4	7	57	42	29	-2	57	42	27	0,8453318	220,221	d_{15}
	8	54	27	14	-3	54	27	11	0,8136395	211,965	d_{45}
	7+8					112	09	38	0,9261305	241,271	d_{41}
Суми		360	00	17	-17	360	00	00			

$\Sigma \beta_{вим.} = 360^\circ 00' 17''$; $\Sigma \beta_T = 180^\circ (4 - 2) = 360^\circ$ $f_\beta = \Sigma \beta_{вим.} - \Sigma \beta_T = +17''$; $донf_\beta = 2m_\beta \sqrt{n} = 2 \cdot 5'' \cdot \sqrt{4} = \pm 20''$.

Для визначення прямокутних координат точок полюсної мережі необхідно спочатку обчислити горизонтальні кути в точках 1, 2, 3, 4 між суміжними сторонами ходової лінії за даними, наведеними у табл. 1. Далі обчислюють дирекційні кути α_i для прямих за напрямком ходової лінії горизонтальних кутів (рис. 2) за формулою

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - \beta_i \pm 180^\circ. \tag{9}$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Прирости координат $\Delta x, \Delta y$ обчислюють за формулами

$$\Delta x_i = d_i \cdot \cos \alpha_i, \tag{10}$$

$$\Delta y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i, \tag{11}$$

та обчислюють суми приростів координат $\sum \Delta x_{np}, \sum \Delta y_{np}$.

Для замкненого ходу ці суми рівнозначні нев'язкам f_x, f_y

$$f_x = \sum \Delta x_{np}, \tag{12}$$

$$f_y = \sum \Delta y_{np}. \tag{13}$$

Абсолютна нев'язка ходу дорівнює

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \tag{14}$$

Обчислюється відносна нев'язка

$$f_{відн} = \frac{f_{abc}}{P} \leq f_{відн. доп.}, \tag{15}$$

де P – периметр ходу. Допустима нев'язка для даних умов згідно з інструкцією [13] дорівнює $f_{відн. доп} = 1/2000$. Поправки в прирости координат обчислюються пропорційно горизонтальним відстаням d_i після ділення нев'язок $f_{\Delta x}, f_{\Delta y}$ на периметр ходу P , взятих із протилежним знаком. Сума поправок у прирости повинна дорівнювати нев'язці, взятої з протилежним знаком.

Координати вершин теодолітного ходу обчислюють за виправленими приростами координат:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta x_{n+1}, \tag{16}$$

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta y_{n+1}. \tag{17}$$

Результати обчислення координат межових знаків наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Відомість обчислення прямокутних координат межових знаків

Вершини полігону	Виправлені кути β			Дирекційні кути α			Горизонтальні прокладення ліній (м) d	Прирости координат		Координати	
	°	'	"	°	'	"		$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$	X	Y
1	-	-	-	296	06	13					
2	89	52	08	26	14	05	262,281	- 13 +235,264	+ 5 +115,941	5329,777	3894,176
3	86	47	29	119	26	36	360,196	- 15 - 177,059	+ 9 +313,674	5565,028	4010,122
4	93	19	05	206	07	31	241,271	- 11 - 216,621	+ 7 - 106,240	5387,954	4323,805
1	90	01	18	296	06	13	360,129	+158,455	- 323,396	5171,322	4217,572
2							$\sum d$	$f_{\Delta x}$	$f_{\Delta y}$	5329,777	3894,176
Σ	360	00	00				1223,877	+0,039	- 0,021		

Площу земельного масиву садово-огороднього товариства обчислюють аналітичним способом за відомими прямокутними координатами межових знаків фігури, за формулами:

$$2S = \sum_1^n X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}); \tag{18}$$

$$2S = \sum_1^n Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}). \tag{19}$$

Результати обчислень площі земельного масиву садово-городнього товариства зведено в табл. 3.

Таблиця 3

Відомість обчислення площі за координатами межових знаків

Вершини полігону	Координати		Різниці		Добутки	
	X_i	Y_i	$Y_{i+1} - Y_{i-1}$	$X_{i-1} - X_{i+1}$	$X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1})$	$Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$
1	5171,322	4217,572	-429,629	58,177	-2221749,900	245365,686
2	5329,777	3894,176	-207,450	-393,706	-1105662,239	-1533160,456
3	5565,028	4010,122	429,629	-58,177	2390897,415	-233296,868
4	5387,954	4323,805	207,450	393,706	1117731,057	1702307,971
			$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 2S$	$\Sigma = 2S$
					181216,333 м ²	181216,333
					S	S
					90608,166 м ²	90608,166 м ²
					9,0608166 га	9,0608166 га
					9,0608 га	

Запропоновано визначити відмітку верху водонапірної башти. Для цього разом із вимірюваннями горизонтальних кутів виконувалось вимірювання і вертикальних кутів двома прийомами в напрямку на верх башти з визначенням місця нуля теодоліту та розрахунком кутів нахилу візирного променя.

Перевищення між точками спостережень, які включали точки ходової лінії 1, 2, 3, 4, визначалось за формулою тригонометричного нівелювання

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i + f, \quad (20)$$

де d – горизонтальне прокладення між точками ходової лінії, v – кут нахилу; i – висота інструменту; f – поправка за кривину Землі та рефракцію.

$$f_{\text{аос}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(0,039)^2 + (0,021)^2} = 0,044 \text{ м}; \quad f_{\text{відн}} = \frac{f_{\text{аос}}}{\sum d} = \frac{1}{27815}.$$

Значення поправки за рефракцію в метрах обчислювалось для нормальної рефракції за формулою [16]

$$f_{(m)} = 0,6749 \cdot 10^{-7} \cdot d_{(m)}^2. \quad (21)$$

Перевищення визначались у прямому та зворотному напрямках та розраховувались їх середні значення.

Обчислювалась нев'язка f_h ходу тригонометричного нівелювання

$$f_h = \sum h - (H_K - H_{II}), \quad (22)$$

де $\sum h$ – сума перевищень між початковою та кінцевою точками ходу; H_K, H_{II} – відмітки кінцевої та початкової точок ходу. Нев'язка не повинна перевищувати допустимого значення [13]

$$\partial \text{о}nf_h = 0,04 \cdot d_{\text{сеп}} \sqrt{n}, \quad (23)$$

де $d_{\text{сеп}}$ – середнє значення з горизонтальних прокладень у тригонометричному ході між початковою та кінцевою точками ходу; n – кількість вказаних горизонтальних прокладень.

Поправки у середні перевищення обчислюються пропорційно горизонтальним відстаням d_i після ділення нев'язки f_h , взятої з протилежним знаком, на периметр ходу $\sum d$ між його початковою та кінцевою точками.

Для визначення відмітки H_B водонапірної башти, яка розташована на полюсі 5 полюсної мережі (рис. 2), використана формула [16]

$$H_B = H + d \cdot \operatorname{tg} v + i + f, \quad (24)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

де H – висота станції; d – горизонтальна відстань від станції до башти; V – кут нахилу візирного променя в напрямку на верх башти. За відмітку верху водонапірної башти взято середнє з обчислених її значень в окремих напрямках.

Результати обчислення висот точок ходової лінії та верху висотної споруди (водонапірної башти) наведено в табл. 4.

Запропоновано виконати обчислення координат висотної споруди. Для цього спочатку визначались дирекційні кути напрямків від пунктів ходової лінії на висотну споруду.

$$\alpha_{i5} = \alpha_{i,i+1} + \beta, \tag{25}$$

де α_{i5} – дирекційний кут ходової лінії в напрямку від її пункту (станції) під номером i на висотну споруду (полос під номером 5) (рис. 2); $\alpha_{i,i+1}$ – дирекційний кут ходової лінії в напрямку від її пункту під номером i в напрямку на її пункт під номером $i+$; β – горизонтальний кут між вказаними напрямками.

Координати висотної споруди визначаються за формулами

$$X_5 = X_i + d_{i5} \cdot \cos\alpha_{i5}, \tag{26}$$

$$Y_5 = Y_i + d_{i5} \cdot \sin\alpha_{i5}, \tag{27}$$

де X_i, Y_i – координати пункту ходової лінії (станції); d_{i5} – горизонтальна відстань від пункту ходової лінії під номером i до полюса (пункту 5).

Таблиця 4

Обчислення відміток точок ходової лінії та відмітки верху водонапірної башти

№ пункту	Перевищення h , м та поправки	Горизонтальне прокладення d , м	Відмітка пункту H , м	Кут нахилу ν			Горизонтальна відстань d_{i5} , м	Початкове перевищення h' , м	Висота інструменту i , м	Відмітка полюса (висотної споруди) H^5 , м
				∞	"	'''				
2	-5 +1,23	262,281	86,19	+2	22	40	221,726	+9,21	1,42	96,82
3	-6 -0,96	360,196	85,37	+2	34	24	224,784	+10,10	1,36	96,83
4	-5 +0,64	241,271	84,35	+2	59	23	211,965	+11,07	1,38	96,80
1			86,94	+2	41	33	220,265	+8,43	1,49	96,86
Σ	+0,91	863,748								384,31

$$(H_K - H_{II}) = 86,94 - 86,19 = +0,75 \text{ м}; f_h = \sum h - (H_K - H_{II}) = +16 \text{ мм};$$

$$S_{cep} = 863748/3 = 287916 \text{ м}; n = 3; \partial \text{on} f_h = 0,04 \cdot S_{cep} \sqrt{n} = \pm 20 \text{ см}; h' = d \cdot \text{tg } \nu;$$

$$H'_{5,cep} = 38431/3 = 9683 \text{ м} - \text{відмітка верху висотної споруди.}$$

Розрахунки координат висотної споруди наведено у табл. 5.

Таблиця 5

Обчислення координат водонапірної башти

№ станції	Координати станції, м		Початковий дирекційний напрямок al			Горизонтальний кут β			Дирекційний кут на полюс α_{i5}			Горизонтальна відстань, м	Координати полюса (висотної споруди), м		
	X_i	Y_i	°	'	"	°	'	"	°	'	"	d_{i5}	X_5	Y_5	
1	5171,32	4217,57	296	06	13	35	34	07	331	40	20	220,26	5365,21	4113,05	
4	5387,95	4323,80	206	07	31	57	42	27	263	49	58	211,96	5365,18	4113,07	
$f_5 = 0,04 \text{ м}$												Середнє значення		5365,20	4113,06

З таблиці видно, що для обчислення планових координат перешкоди було використано два напрямки на висотну споруду – від пунктів 1 та 4, які розташовані на початку та в кінці полюсної системи (рис. 2). Такі напрямки мають відповідно найменшу та найбільшу похибки планового положення пункту 5 (висотної споруди). Отже, за різницями координат точки 5 можна зробити висновок про якість визначення планового положення висотної споруди

$$f_5 = \sqrt{(X_{1,5} - X_{4,5})^2 + (Y_{1,5} - Y_{4,5})^2} . \quad (28)$$

Висновки відповідно до статті. Розширено можливості полюсного методу для визначення планових координат і відмітки полюса мережі. Запропоновано під час геодезичного супроводу кадастрових робіт на приаеродромній території разом із визначенням координат меж земельних ділянок та їхніх площ виконувати обчислення координат та відміток перешкод (висотних споруд), розташованих на їхніх територіях, з використанням полюсного методу для створення координатноорієнтованої електронної бази даних висотних перешкод у районі аеропорту. На конкретному прикладі показано технологію застосування полюсного методу, який у комплексі вирішує вказані задачі.

Список використаних джерел

1. *Про затвердження Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року* [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 126. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show>.
2. *Крячок С. Д.* Топографо-геодезичне забезпечення аеропортів / С. Д. Крячок // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2018. – № 1 (11). – С. 239–251.
3. *Terrain and Obstacle Data Manual* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual>.
4. Переваги використання лідарних даних в ГІС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/advantages-of-using-lidar-in-gis.htm>.
5. *Schaer, P., Skaloud, J., Tomé, P.* Towards in-flight Quality Assessment of Airbourne Laser Scanning, ISPRS, Beijing 2008.
6. *Tereshchuk O.* Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlenets / О. Tereshchuk, І. Nystorik // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2016. – Вип. 84. – С. 90–98.
7. *Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі* / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторьяк. // Інженерна геодезія. – 2014. – № 61. – С. 58–77.
8. *Терещук О. І.* Дослідження конструкції опори антени перманентної GPS – станції «Чернігів» / О. І. Терещук, В. В. Суровець, В. І. Мовенко. // Вісник геодезії та картографії. – 2006. – № 3. – С. 8–10.
9. *Бурачек В. Г.* Сумісне використання GPS-технологій та електронної тахеометрії для визначення координат точок опорної мережі / В. Г. Бурачек, І. О. Нисторьяк // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій : II наук.-практ. конф. – К. : НАУ, 2013. – С. 70–75.
10. *Терещук О. І.* Відновлення міських полігонометричних мереж сучасними супутниковими технологіями / О. І. Терещук, І. О. Нисторьяк, Р. В. Шульц // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2015. – Вип. 82. – С. 59-72.
11. *Крячок С. Д.* Побудова полігонометричних мереж зустрічними ходами / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 5. – С. 9–12.
12. *Щербак Ю. В.* Про обґрунтування параметрів теодолітних ходів під час виконання кадастрових зйомок / Ю. В. Щербак, В. М. Іванов, М. Я. Бринь // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 230–233.
13. *Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500* : ГКНТА – 2.04-02-98: Офіц. вид. – К. : Укргеоінформ; Гол. упр. геодез., картогр. та кадастру, 1999. – 155 с.
14. *Романчук С. В.* Геодезія : навчальний посібник / С. В. Романчук, В. П. Кирилюк, М. В. Шемякін. – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 296 с.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

15. *Порядок* проведення інвентаризації земель від 23 травня 2012 р. № 513 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/513-2012-%D0%BF>.

16. *Островський А. Л.* Геодезія, частина II : підручник для вузів / А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Тарнавський. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. – 508 с.

References

1. Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku aeroportiv na period do 2023 roku [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated February 24, 2016 No. 126 on Approval of the State Target Program for the Development of Airports for the period up to 2023]. № 126 (24.02.2016). Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show> [in Ukrainian].

2. Kriachok, S. D. (2018). Topografo-heodezychne zabezpechennia aeroportiv [Topographic and geodetic provision of airports]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the Chernihiv State Technological University. Series «Technical Sciences»*, 1 (11), 239-251 [in Ukrainian].

3. Terrain and Obstacle Data Manual. (n.d.). www.eurocontrol.int. Retrieved from <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual> [in English].

4. Perevahy vykorystannia lidarnykh danykh v HIS. [Advantages of Lidar data in GIS]. *desktop.arcgis.com*. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/advantages-of-using-lidar-in-gis.htm> [in Ukrainian].

5. Schaer, P., Skaloud, J. & Tomé, P. (2008). *Towards in-flight Quality Assessment of Airborne Laser Scanning*. Beijing: ISPRS [in English].

6. Tereshchuk, O., Nystorik, I. (2016). Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlements. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 84, 90-98 [in Ukrainian].

7. Shults, R. V., Tereshchuk, O. I., Annenkov, A. O. & Nystoriak, I. O. (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat za suputnykovyimi tekhnolohiiamy u realnomu chasi [Practical studies of the accuracy of coordinates by satellite technology in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 61, 58–77 [in Ukrainian].

8. Tereshchuk, O. I., Surovets, V. V. & Movenko, V. I. (2006). Doslidzhennia konstruksii opory anteny permanentnoi GPS – stantsii «Chernihiv» [Investigation of the antenna support of the permanent GPS-station "Chernihiv"]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiï – Bulletin of Geodesy and Cartography*, 3, 8–10 [in Ukrainian].

9. Burachek, V. H. & Nystoriak, I. O. (2013). Sumisne vykorystannia GPS-tekhnolohii ta elektronnoi takheometrii dlia vyznachennia koordynat tochok opornoï merezhi [Compatible use of GPS technology and electronic taeometry to determine the coordinates of the points of the reference network]. Proceeding from *Scientific and practical conference «Naukovi aspekty heodezii, zemleustroiï ta informatsiïnykh tekhnolohii» – Scientific-practical conference «Scientific aspects of geodesy, land management and information technologies»* (pp. 70-75) [in Ukrainian].

10. Tereshchuk, O. I., Nystoriak, I. O., Shults, R. V. (2015). Vidnovlennia miskykh polihometrychnykh merezh suchasnyimi suputnykovyimi tekhnolohiiamy [Reconstruction of urban polygonometric networks with modern satellite technologies]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 82, 59-72 [in Ukrainian].

11. Kriachok, S. D. & Mamontova, L. S. (2014). Pobudova polihometrychnykh merezh zustrichnyimi khodamy [Construction of polygonometric networks with counter-moves]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiï – Bulletin of Geodesy and Cartography*, 5, 9-12 [in Ukrainian].

12. Shcherbak, Yu. V., Ivanov, V. M., Bryn, M. Ya. (2015). Pro obgruntuvannia parametriv teodolitnykh khodiv pid chas vykonannia kadastrykh ziomok [On the substantiation of the parameters of the theodolite moves during the execution of cadastral surveys]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the Chernihiv State Technological University. Series «Technical Sciences»*, 1 (1), 230-233 [in Ukrainian].

13. *Instruktsiia z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 [Instructions for topographic scaling 1:5000, 1:2000, 1:1000 and 1:500]*. (1999). Kyiv: Ukrheoinform [in Ukrainian].

14. Romanchuk, S. V., Kyryliuk, V. P., Shemiakin, M. V. (2008). *Heodeziia [Geodesy]*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].

15. Poriadok provedennia inventaryzatsii zemel vid 23 travnia 2012 r. № 513 [The procedure for inventorying land from May 23, 2012, No. 513]. (n.d.). *zakon1.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/513-2012-%D0%BF> [in Ukrainian].

16. Ostrovskiy, A. L., Moroz, O. I. & Tarnavskiy, V. L. (2007). *Heodeziia, chastyna II [Geodesy, part II]*. Lviv: NU «Lvivska politehnika» [in Ukrainian].

UDK 528.3

Serhiy Kryachok, Yuliya Shcherbak, Liudmyla Mamontova

APPLICATION OF THE POLAR METHOD FOR DETERMINING COORDINATES ON THE TERRITORY NEAR THE AERODROME

Urgency of the research. In Ukraine, the State Target Program for the Development of Airports for the period up to 2023 was adopted. The purpose of the Program is to meet the needs of the state in ensuring a stable development of the aviation industry, bringing the infrastructure of aviation transport in line with international standards

Target setting. To zone of responsibility for the security air transportation belongs the territory near the aerodrome. For civil aviation airports, must have electronic databases on the terrain and obstacles (high-rise objects) within the aerodrome and at the territory near the aerodrome. These databases should have coordinates.

Actual scientific researches and issues analysis. The last publications in the open access, which are devoted to the coverage of geodetic methods for determining the plan coordinates and altitude of high-rise objects on the territory near the aerodrome were considered. Polar method was selected.

Uninvestigated parts of general matters defining. The polar method has the potential for determining the plan coordinates and altitude of high-rise objects. This is necessary for the prompt introduction of amendments and additions on the boundaries of land plots, their coordinates and the area.

The research objective. The main purpose of this article is to use a combined method using GPS-observations and a network in the form of a polar system for determining the coordinates of boundary marks, calculating the area of land and determining the coordinates and altitude of high-rise buildings at the territory near the aerodrome.

The statement of basic materials. The geometric nature of the known pole construction in the form of a network of triangles with a definite basis, whose vertices converge in one point - the pole. In each triangle, two horizontal angles are measured. The theoretical basis and algorithm for calculating points coordinates are given. It is proposed to calculate the plane coordinates of the pole - the point of finding a high-rise building and measure along with the horizontal angles and vertical angles of the same directions. This allows to compute an altitude on the top of a high-altitude object. In a concrete example, the use of the pole method for determining the plan coordinates of the boundaries of the land mass, calculating its area and determining the plan coordinates and altitude the top of a high-rise building located on the territory of the array, is shown.

Conclusions. It is offered during geodetic accompaniment of cadastral works on the territory of the aerodrome to determine the coordinates of the boundaries of land plots and their area and coordinates and heights of high-rise buildings located on their territory using the polar method. This allows to create a coordinate electronic database of high-altitude obstacles in the airport area.

Keywords: the territory near the aerodrome; Electronic database of obstacles; area definition; cadastral works.

Fig.: 2. **Table:** 5. **References:** 16.

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (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 National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: geodesist2015@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

ResearcherID: N-3061-2016

Щербак Юлія Володимирівна – магістр, викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Shcherbak Yuliya – master, lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Shch.Yu15@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3439-3792>

ResearcherID: H-4199-2016

Мамонтова Людмила Степанівна – старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Mamontova Lyudmila – Senior Lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology. (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: liudmila.mamontova@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4144-5261>

ResearcherID: N-3070-2016

Наталія Марченко, Сергій Новицький, Денис Зав'ялов

ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ ВОДО- ТА ВОЛОГОПОГЛІННЯ СУХОСТІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

Актуальність теми дослідження. Протягом останніх років всихання хвойних деревостанів набули значних масштабів, що стало причиною зростання, отримуваних у процесі лісозаготівель, обсягів так званої «сухостійної» деревини, однією з ознак якої є ураження деревозабарвлюючими грибами. Тому виникло питання ефективного та раціонального використання такої деревини у промисловості. Дослідження показників водо- та вологопоглинання такої деревини сприятимуть пошуку раціональних шляхів її використання.

Постановка проблеми. Відсутність деревинознавчих характеристик сухостійної деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню показників водопоглинання і вологопоглинання сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) без ознак мікологічних уражень та всихання присвячено чимало наукових робіт, однак експериментальних даних щодо сухостійної деревини досить небагато.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутність даних щодо показників водо- та вологопоглинання сухостійної деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) з деревостанів різної давності всихання.

Постановка завдання. Завданням цієї роботи є дослідження кінетики водо- і вологопоглинання сухостійної деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.).

Виклад основного матеріалу. Визначення показників водо- та вологопоглинання проводили згідно з методикою ГОСТ 16483.19-72 та ГОСТ 16483.20-72 на зразках деревини, відібраної з хвойних деревостанів (сосна звичайна) давністю всихання від 1-го до 3-х років Київської та Житомирської областей, у порівнянні зі здоровою деревиною.

Висновки відповідно до статті. Підтверджено тенденцію до зростання показників водопоглинання та вологопоглинання зі збільшенням давності всихання деревини сосни звичайної.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L.; давність всихання; деревинозабарвлюючі гриби; мікологічні ураження.

Табл.: 1. Рис.: 4. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Сьогодні попит на деревину як матеріал на основі відновлюваних видів сировини стрімко зростає. Це викликано тим, що застосування елементів із дерева є одним із важливих напрямків підвищення ефективності будівельного виробництва, оскільки деревина належить до класу легких будівельних конструкцій. Однак активне споживання деревини у світі призвело до того, що вирубка лісів значно перевищує лісопосадки. У результаті – більшість країн відчуває нестачу лісових насаджень, особливо деревини хвойних порід промислового значення, яка активно споживається як конструкційна. Така ситуація спонукає до пошуків додаткових резервів деревини, придатних для використання в промисловості. Подібним резервом може бути сухостійна деревина, що виявляється в лісових насадженнях усіх груп віку і типів лісу, запас якої щорічно збільшується в результаті зміни природних факторів.

Зміна середньорічної температури в середньому на 1,5-1,9 °C у вищу сторону та зменшення середньорічних опадів на 6-8 мм і призвели до ослаблення всиханням соснових деревостанів України [5]. Наслідками всихання соснових насаджень є часткова втрата технічної придатності деревини через її забарвлення у відтінки від синього до чорного кольорів (рис. 1), до якого призводить діяльність багаточисельних сумчатих грибів родів *Ophiestoma*, *Ceratostomella*, грибів родів *Pullularia*, *Phialophora*, а також грибів *Aspergillus niger*, *Aureobasidium pullulans* та інших. Деревозабарвлюючі гриби – типові мешканці деревини хвойних порід, які можна поділити на дві групи:

1) гриби, гіфи яких ростуть переважно в паренхімних клітинах і живляться тільки запасами, зосередженими в клітинах вертикальної паренхіми і серцевинних променях дерева, але не зачіпають структуроутворюючих елементів клітин і не знижують міцності матеріалу. Утворення пігментів вказує на протікання окислювально-відновних процесів, що каталізуються ферментами грибів та/або захисними ферментами системи деревини;

2) гриби, що виробляють ферменти, які деструктують целюлозу, геміцелюлози й пектинові речовини. Існують також ферменти, деструктуючі лігнін – фенолоксідази.

Отже, основними сортоутворюючими ознаками сухостійної деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) є (рис. 2): а) давністю всихання до 1-го року – заболонні грибні забарвлення (синява), торцеві та неглибокі бічні тріщини всихання і поверхнева черво-

точина; б) давністю всихання до 2-х та до 3-х років – глибокі бічні тріщини від всихання, глибокі грибні забарвлення від синього до чорного кольорів, неглибока та глибока червоточина, заболонні та ядрові гнилі різної глибини ураження.

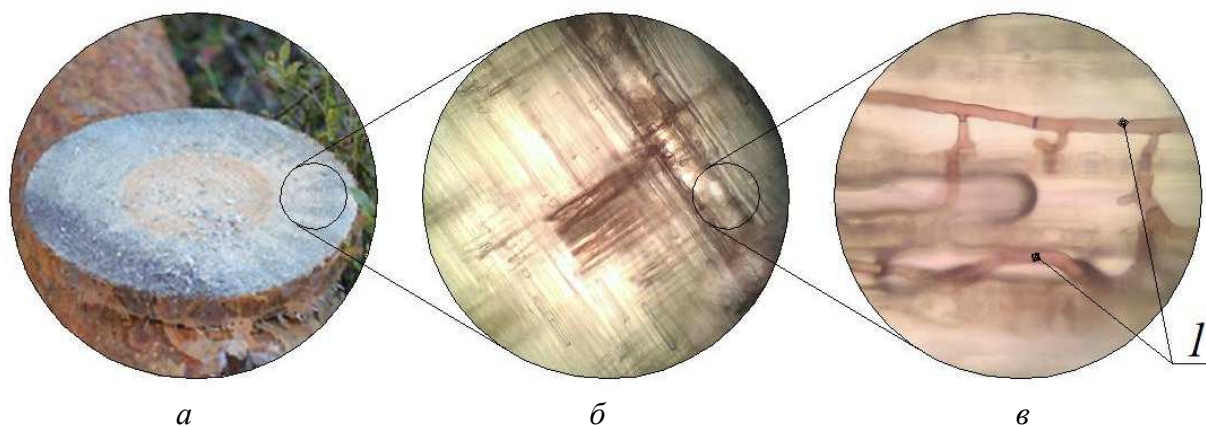


Рис. 1. Вигляд деревини:

а – на зрізі колоди, ураженої деревозабарвлюючими грибами; б – мікрозріз у 640-кратному збільшенні; в – мікрозріз у 1600-кратному збільшенні; 1 – скупчення гіфів у клітинах серцевинних променів

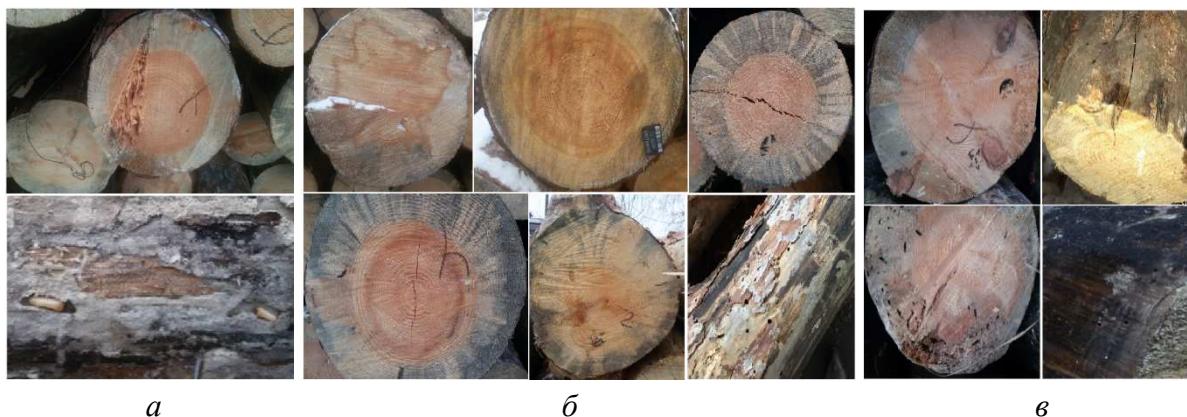


Рис. 2. Деякі з основних сортоутворюючих вад сухостійної деревини сосни:

а – давністю всихання до 1-го року; б – давністю всихання до 2-х років; в – давністю всихання до 3-х років

На сьогодні сортування лісосировини в нашій країні регламентується міждержавними стандартами (ГОСТ 9463-88, ГОСТ 9462-88), національними стандартами (ДСТУ ENV 1927-1, ДСТУ ENV 1927-2, ДСТУ ENV 1927-3, ДСТУ EN 1315-2, ДСТУ EN 1316-1) і технічними умовами (ТУ). Варто зазначити, що в жодному з цих нормативних документів не зазначено такого терміна, як «сухостійна деревина», що ускладнює її ідентифікацію та визначення напрямку використання. Однак відомо, що застосування деревини з ознаками мікологічних уражень як конструкційного матеріалу можливо тільки на ранніх стадіях мікологічного впливу [3].

Загалом характеристичні властивості такої деревини мало досліджені і, відповідно, її потенціал повністю не використовується. У результаті чого її переважно застосовують у виробках невисокої відповідальності, до яких не висувається високих вимог щодо якості: заготовки для тари, піддонів, ящиків, дрота колоті, брикети тощо.

Постановка проблеми. Вивчення деревинознавчих аспектів носить важливий характер не лише в межах однієї породи, а й окремого дерева. Це викликано значною варіабельністю фізичних та механічних властивостей ростучого дерева, як за місцем походження дерева, інтенсивністю його зростання, так і за перерізом та висотою стовбура. Однак більшість досліджень, на основі яких було зібрано та стандартизовано великий

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

статистичний матеріал [4], виконувались ще в період з 1961 по 1984 рр. для різних регіонів СРСР, у тому числі й у загальному – для УРСР. На сьогодні такі дослідження носять локальний характер і, як наслідок, отримані дані прив'язані до місця походження деревини та інтенсивності її зростання.

Крім того, зазначено, що в наш час значення показників фізичних та механічних властивостей деревини, на відміну від даних минулих років, носять дещо інший характер унаслідок зміни умов зростання дерев через різку конверсію клімату. Також такі кліматичні зміни призводять до того, що в лісах спостерігається розвиток та швидке поширення патологічних процесів, які спричиняють масове всихання деревостанів, особливо соснових, внаслідок чого відбувається ослаблення дерев, що найчастіше супроводжується грибними ураженнями і, відповідно, зміною технічних властивостей деревини.

У випадку виготовлення пиломатеріалів конструкційного призначення з сухостійної деревини сосни часто виникає необхідність у їх просочуванні антисептуючими речовинами, особливо за наявності ознак мікологічних уражень. Тому важливою характеристикою деревини в цьому процесі є величина показника водопоглинання.

Слід зауважити, що під час експлуатації конструкційних матеріалів відбувається зміна їхньої вологості, оскільки деревина поглинає або віддає вологу з повітря. Це явище має велике практичне значення, оскільки будь-яка зміна кількості зв'язаної вологи пов'язана зі зміною розмірів та показників фізико-механічних властивостей деревини. Здатність деревини поглинати вологу з повітря відноситься до її негативних властивостей, тому для зменшення вологопоглинання деревину покривають фарбами та лаками. Для більш істотного зниження гігроскопічності застосовують просоченням деревини штучними смолами.

Отже, вивчення деревинознавчих характеристик сухостійної деревини дає можливість прогнозування її поведінки в процесі обробки та експлуатації, що дає змогу віднайти напрямки раціонального використання такої сировини. У зв'язку з цим визначення показників водо- та вологопоглинання сухостійної деревини сосни є актуальним питанням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість досліджень закономірності процесів поглинання води та вологи проведено вченими на деревині без ознак всихання [2; 7; 10]. Щодо деревини із всохлих деревостанів, то деякими дослідниками [6] зазначено, що через місяць після дії деревинозabarвлюючих грибів (синяви) швидкість водопоглинання заболоні сосни зростає в 1,5 рази. Проте відомості щодо показників та кінетики вологопоглинання деревини сосни звичайної, ослабленої всиханням, досить обмежені. Однак існують дані, що за низького вологовмісту розвиток грибів сильно сповільнюється, а при його значенні нижче 20 % повністю припиняється [3]. Загалом дослідження сухостійної деревини почались нещодавно і їх досить небагато.

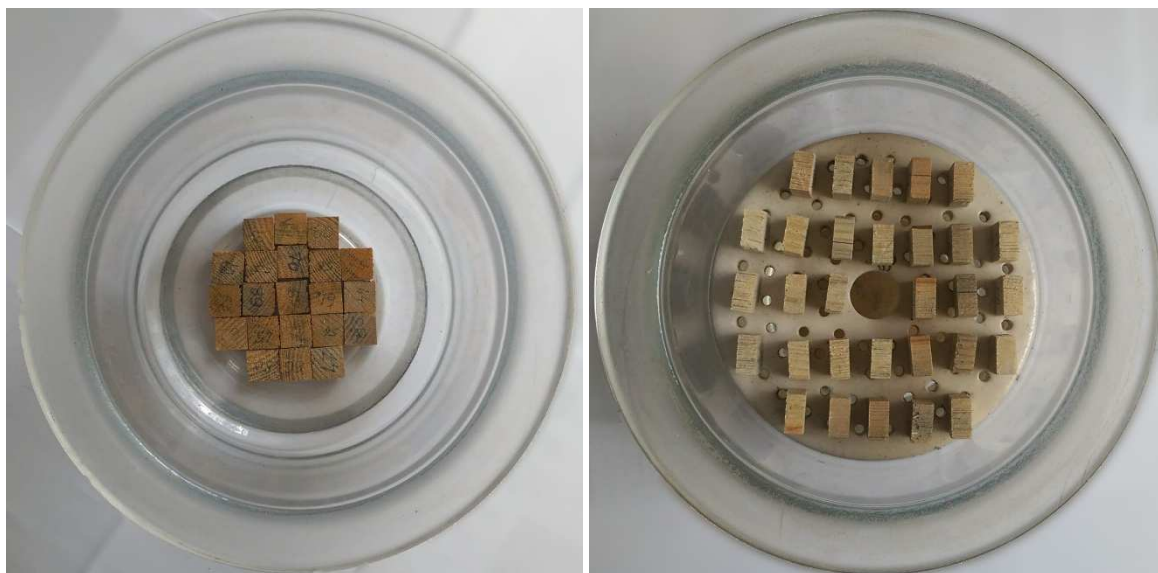
Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Дані щодо технічних властивостей ослабленої деревини з всихаючих деревостанів практично відсутні. Тому метою цієї роботи є визначення водо- й вологопоглинаючої здатності здорової та сухостійної деревини сосни різної давності всихання з лісостепової зони Київської та Житомирської областей України.

Виклад основного матеріалу. Дослідження кінетики водо- та вологопоглинання проводили на зразках сухостійної деревини, відібраної з соснових деревостанів давністю всихання до 1-го, до 2-х та до 3-х років з Київської та Житомирської областей, у порівнянні зі здоровою деревиною.

Випробування проводили відповідно до методик ГОСТ 16483.19-72 та ГОСТ 16483.20-72. Для кожного виду випробувань виготовляли зразки зі здорової та сухостійної деревини сосни різної давності всихання у формі прямокутної призми з розмірами основи 20×20 мм і довжиною вздовж волокон 10 мм. Всі дослідні одиниці висушували до абсолютно сухого стану та зважували.

Для визначення межі водопоглинання всі зразки закладались у ексикатор (рис. 3, а) під вставку, заливались дистильованою водою таким чином, щоб одна з пластей лишалась сухою та герметично закривали кришкою.

Для встановлення показника вологопоглинання було використано метод витримування дослідних одиниць у герметичному ексикаторі (рис. 3, б) над насиченим розчином соди ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Застосування розчину соди замість чистої води пояснюється тим, що над його поверхнею відносна вологість повітря становить 92 %, що зменшує можливість конденсації водяної пари при коливаннях температури під час експерименту.



а

б

Рис. 3. Зразки в ексикаторі для проведення експериментальних досліджень із визначення показників:

а – водопоглинання; б – вологопоглинання

Ексикатор розміщували в приміщенні з температурою навколишнього середовища (20 ± 2)°C не менше ніж на 30 діб. Перше зважування проводили після витримки зразків протягом 2-х годин, наступні – через 1, 2, 3, 6, 9, 13, 20 діб і далі – через кожні 10 діб після першопочаткового зважування.

Отримана в процесі досліджень значна кількість статистичних даних (табл.), дозволила побудувати графіки кінетики процесів (рис. 4).

Таблиця

Результати визначення показників водопоглинання та вологопоглинання деревини сосни

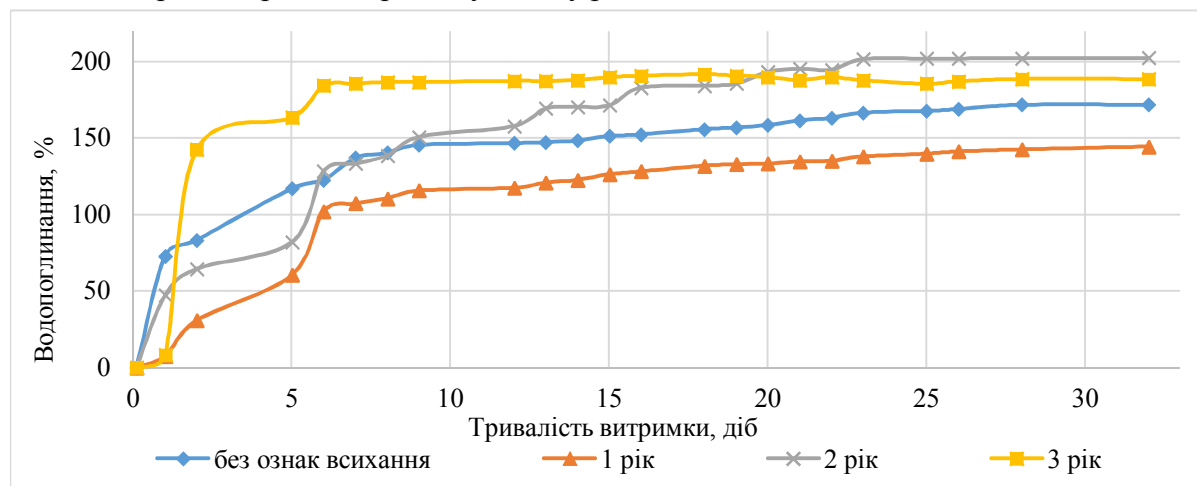
Давність всихання деревостанів	Джерела даних	Водопоглинання, %	Вологопоглинання, %
До 1-го року	Експериментальні	154±16	20,0±0,9
До 2-х років		175±24	20,8±0,5
До 3-х років		191±10	21,4±0,5
Деревина без ознак всихання	Довідкові за [1; 9]	170±5	19,8±0,8
		185	24

Як видно з таблиці, водопроникна та вологопоглинаюча властивості сухостійної деревини сосни мають значну мінливість за давністю всихання, яка пояснюється життєдіяльними процесам деревинозабарвлюючих грибів (синяви).

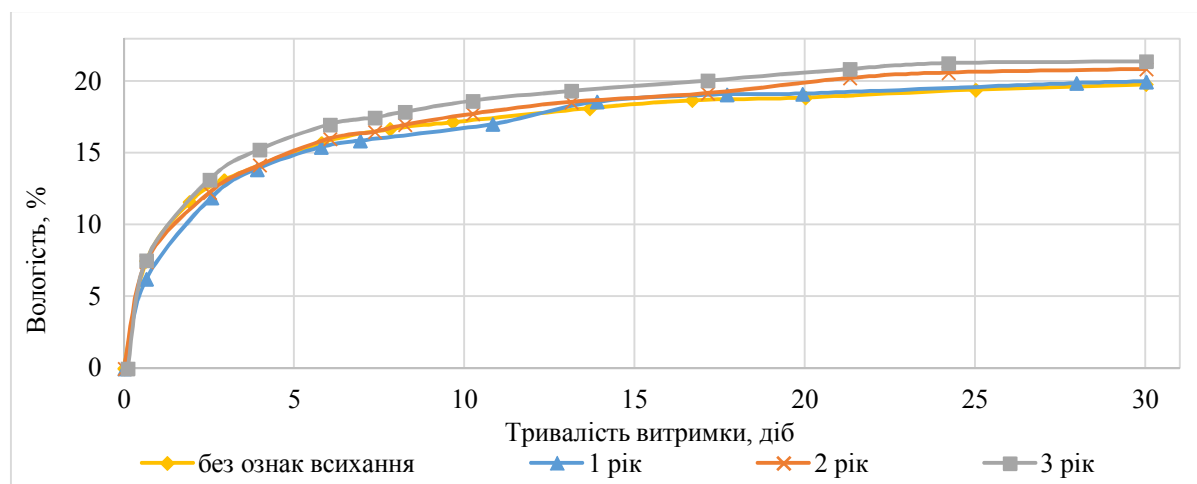
Зменшення значення водопоглинання досліджуваних показників сухостійної деревини давністю усихання до 1-го року порівняно зі здоровою деревиною пояснюється тим, що на початковій стадії ураження гриби синяви викликають закупорення трахеїд смолянистими

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

сполуками. Подальша діяльність грибів пов'язана із розкладом легкорозчинних поживних речовин у порожнинах клітин, що інтенсифікують процеси водо- та вологопоглинання в деревині, давністю всихання до 2-х років. Із розвитком мікологічних уражень у деревині, давністю всихання до 3-х років, спостерігається утворення перфорацій у мембранах облямованих пор, які сприяють кращому обміну рідини та вологи між клітинами.



а



б

Рис. 4. Кінетика процесу:
а – водопоглинання; б – вологопоглинання

З рис. 4 видно, що динаміка поглинання води та вологи має однаковий характер для всіх груп дослідних зразків як сухостійної, так і не ослабленої всиханням та не ураженої грибами деревини, і має явно виражену експоненціальну залежність на початку (5-6 діб) процесів.

Встановлено, що кінетика водопоглинання заболонної деревини вкладається в логарифмічну залежність, а регресійні рівняння процесу матимуть вигляд для деревини:

а) без ознак уражень – $Y_{зд} = 30,257 \ln(x) + 70,483;$ (1)

б) усиханням до 1-го року – $Y_{1р} = 30,879 \ln(x) + 39,303;$ (2)

в) усиханням до 2-х років – $Y_{2р} = 40,788 \ln(x) + 60,64;$ (3)

г) усиханням до 3-х років – $Y_{3р} = 36,28 \ln(x) + 86,389.$ (4)

Аналогічна ситуація спостерігається і для показника вологопоглинання:

а) без ознак уражень – $Y_{зд} = 0,1269 \ln(x) + 5,700;$ (5)

б) усиханням до 1-го року – $Y_{1р} = 0,139 \ln(x) + 6,464;$ (6)

в) усиханням до 2-х років – $Y_{2р} = 0,121 \ln(x) + 5,478;$ (7)

г) усиханням до 3-х років – $Y_{3р} = 0,1377 \ln(x) + 6,008.$ (8)

Така інтенсивність вологопоглинання пояснюється сорбцією парів внутрішньою поверхнею клітинних стінок і конденсацією пари в мікрокапілярах. По мірі насичення стінок клітин полімолекулярний шар вологи потовщується. Поглинання вологи поступово сповільнюється до межі гігроскопічності. У свою чергу поглинання води деревиною відбувається під дією капілярних сил. Подальше поглинання відбувається під дією градієнту вологості за рахунок дифузійного проникнення води через клітинні стінки трахеїд деревини. З перебігом процесу градієнт вологості зменшується [1].

Висновки відповідно до статті. Визначення показників водопоглинання та вологопоглинання не ослабленої всиханням і неуразеної грибами та сухостійною деревини сосни різної давності всихання дають можливість отримати залежності цих величин від тривалості перебігу процесу.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили тенденцію до зростання та показників водо- та вологопоглинання зі збільшенням давності всихання такої деревини.

Список використаних джерел

1. Боровиков А. М. Справочник по древесине: справочник / А. М. Боровиков, Б. Н. Уголев. – М. : Лесная пром-сть, 1989. – 296 с.
2. Владимірова Е. Г. Влияние термической модификации на некоторые физико-механические свойства древесины сосны (*Pinus sylvestris*) / Е. Г. Владимірова // Вестник Московского государственного университета леса «Лесной вестник». – 2011. – № 5 (81). – С. 97–102.
3. Горячев Н. Л. Микологически разрушенная древесина как сырье для композиционных пластиков и декоративных изделий : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.21.05 / Горячев Никита Леонидович ; Московский государственный университет леса. – М., 2015. – 151 с.
4. ГСССД 69-84. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 30 с.
5. Житомирське обласне управління лісового та мисливського господарства [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zt-lis.gov.ua/pres-sluzhba/novina/article/chomu-ginut-sosnovi-lisi>.
6. Исследование поражения поражения микроскопическими грибами образцов из сосны и LVL / С. И. Миронова, М. Б. Москалев, А. Л. Ковжина, Т. А. Серова // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 1 (48). – С. 145–152.
7. Кисельова А. В. Изменение водопоглощения древесины ядра сосны, поврежденной пожаром / А. В. Кисельова, Н. А. Пронин // Материалы «АННИ XXI века». – 2016. – № 5, ч. 2. – С. 287–290.
8. Мешкова В. Сосна всихає. Хто винен – нематоди, гриби чи жуки? [Електронний ресурс] / В. Мешкова // Всеукраїнський журнал «Лісовий вісник». – 2016. – № 2 (53). – Режим доступу : <http://lisvisnyk.com.ua/%D1%81%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%B0-%D0%B2%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%B0%D1%94-%D1%85%D1%82%D0%BE-%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BD-%D0%BD%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8-%D0%B3%D1%80%D0%B8-2>.
9. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология деревообработки» / П. С. Серговский, А. И. Расев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Лесная пром-сть, 1987. – 360 с.
10. Степина И. В. Взаимодействие с водой древесины сосны, модифицированной фенолборатами [Електронний ресурс] / И. В. Степина, О. А. Кляченкова // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2013. – Вып. 4 (29). – Режим доступу : [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StepinaKlyachenkova-2013_4\(29\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StepinaKlyachenkova-2013_4(29).pdf).

References

1. Borovikov, A. M., Ugolev, B. N. (1989). *Spravochnyk po drevesyne: spravochnyk [Wood Handbook: Handbook]*. Moscow: Lesnaia promyshlennost [in Russian].
2. Vladimirova, E. G. (2011). Vliianie termicheskoy modifikatsii na nekotorye fiziko-mekhanicheskie svoistva drevesiny sosny (*Pinus sylvestris*) [The effect of thermal modification on some of the physical and mechanical properties of pine wood (*Pinus sylvestris*)]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoi vestnik – Bulletin of the Moscow State Forest University*, 5 (81), 97–102 [in Russian].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Goriachev, N. L. (2015). *Mikologicheski razrushennaya drevesina kak syriyo dlia kompozitsionnykh plastikov i dekorativnykh izdelii [Mycologically degraded wood as raw material for composite plastics and decorative products]*. (Candidate's thesis). Moscow [In Russian].

4. GSSSD 69-84. Drevesina. Pokazateli fiziko-mekhanicheskikh svoistv malykh chistykh obraztsov [GSSSD 69-84. Wood. Indicators of physical and mechanical properties of small pure samples.] (1985). Moscow: Izd-vo standartov [in Russian].

5. Zhytomyrskoe oblasne upravlinnia lisovoho ta myslyvskoho hospodarstva [Zhytomyr regional administration of forestry and hunting facilities]. Retrieved from <http://zt-lis.gov.ua/pres-sluzhba/novina/article/chomu-ginut-sosnovi-lisi>.

6. Mironova, S. I., Moskalev, M. B., Kovzhina, A. L., Serova, T. A. (2015). Issledovanie porazheniia mikroskopicheskimi gribami obraztsov iz sosny i LVL [Investigation of lesions with microscopic fungi of samples from pine and LVL]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Herald of Civil Engineers*, 1 (48), 145-152 [in Russian].

7. Kiselova, A. V., Pronin, N. A. (2016). Izmenenie vodopogloshcheniya drevesiny yadra sosny, povrezhdennoy pozharom [Change in water absorption of pine wood, damaged by fire]. *Materialy «ANNI XXI veka» – Materials «ANNI XXI century»*, 5 (2), 287–290 [in Russian].

8. Mieshkova, V. (2016). Sosna vsykhaie. Khto vynen – nematody, hryby chy zhuky? [Pine is dry. Who is to blame – nematodes, mushrooms or beetles?]. *Vseukrainskyi zhurnal «Lisovyi visnyk» – All-Ukrainian magazine «Forest Herald»*, 2 (53) [in Ukrainian].

9. Sergovskii, P. S., Rasev, A. I. (1987). *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny: uchebnik dlia studentov vuzov, obuchaiushchikhsia po spetsialnosti «Tekhnologii derevoobrabotki» [Hydrothermal processing and preservation of wood: a textbook for university students studying in the specialty «Technology of woodworking»]*. Moscow: Lesnaia promyshlennost [in Russian].

10. Stepina, I. V., Kliachenkova, O. A. (2013). Vzaimodeistvie s vodoi drevesiny sosny, modifitsirovannoi fenilboratami [Interaction with water of pine wood modified with phenylborates]. *Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaiia – Internet-bulletin of VolgGASU. Ser.: Polythematical*, 4 (29). Retrieved from [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StepinaKlyachenkova-2013_4\(29\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StepinaKlyachenkova-2013_4(29).pdf).

UDC 674.038

Nataliia Marchenko, Serhii Novytskyi, Denys Zaviyalov

FEATURES OF KINETICS OF WATER AND MOISTURE ABSORPTION OF SCOTCH PINE DEADWOOD

Urgency of the research. During the last years the drying of coniferous woodlands has become significant, which has resulted in the growth of timber harvesting, the volume of so-called "dead" wood, one of the sign of it is the damage wood-staining fungi. Therefore, the question arose about the effective and rational use of such wood in industry. Investigation of the water and moisture absorption of such wood will facilitate the search for rational ways of its use.

Target setting. Absence of woodworking characteristics of *Pinus sylvestris* L. deadwood.

Actual scientific researches and issues analysis. A considerable number of scientific papers are devoted to the study of water absorption and moisture absorption of *Pinus sylvestris* L. without signs of mycological lesions and drying [4-6], but there are quite a few experimental data on deadwood.

Uninvestigated parts of general matters defining. Absence of data on water and moisture absorption rates of deadwood of *Pinus sylvestris* L. from woodlands with different limitation of drying.

The research objective. The purpose of this work is to study the kinetics of water and moisture absorption of *Pinus sylvestris* L. deadwood.

The statement of basic materials. Determination of water and moisture absorption indices was carried out in accordance with the methodology of GOST 16483.19-72 and GOST 16483.20-72 on samples of wood, selected from coniferous stands (*Pinus sylvestris* L.), the limitation of drying from the 1st to the 3rd years of the Kiev and Zhytomyr regions, in comparison with healthy wood.

Conclusions. The tendency to increase the rates of water absorption and moisture absorption with the increase of the limitation of drying of *Pinus sylvestris* L. wood is confirmed.

Keywords: *Pinus sylvestris* L.; limitation of drying; wood-staining fungi; mycological lesions.

Tabl.: 1. Fig.: 4. References: 10.

Марченко Наталія Валентинівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій та дизайну виробів з деревини, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, 03041, Україна).

Marchenko Nataliia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department Technology and Design of Wood Products, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

E-mail: nv_marchenko@ukr.net

Новицький Сергій Володимирович – аспірант кафедри технологій та дизайну виробів з деревини, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, 03041, Україна).

Serhii Novytskyi – PhD student, Department Technology and Design of Wood Products, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

E-mail: s.v.novytsky@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7849-0212>

ResearcherID: N-1388-2018

Зав'ялов Денис Лазарович – аспірант кафедри технологій та дизайну виробів з деревини, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, 03041, Україна).

Denys Zavyalov – PhD student, Department Technology and Design of Wood Products, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

E-mail: lazarovuch@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9532-0060>

**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 **65 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією.

**УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ ЧЕРНІГІВСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ:**

<http://tst.stu.cn.ua/>

Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 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

№ 3 (13)

Відповідальний за випуск
Коректор
Комп'ютерна верстка і макетування

С. П. Сапон
О. С. Смелова
Т. М. Колот

Підписано до друку 19.11.2018. Формат 60×84/8. Друк різнографія.
Ум. друк. арк. – 32,3. Тираж 100 пр. Замовлення № 444/18.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.